Effets de l'installation d'un oléoduc sur la productivité des terres cultivées en Ontario

Agriculture Canada

Direction générale de la recherche

Research Branch

Effets de l'installation d'un oléoduc sur la productivité des terres cultivées en Ontario

J.L.B. Culley, D.K. Dow,
E.W. Presant et A.J. MacLean

Institut de recherches sur les terres
Ottawa (Ontario)

Contribution N° 66

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1981

On peut obtenir des exemplaires de cette publication de

J.L.B. Culley
Institut de recherches sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ont.)
K1A 0C6

Copies of this publication are available from

J. L. B. Culley
Land Resource Research Institute
Research Branch
Agriculture Canada
Ottawa, Ont.
K1A 0C6

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1981

© Minister of Supply and Services Canada, 1981

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS 1

CONSLUSIONS 2

RESUME DES RESULTATS 3

1. INTRODUCTION 7

2. MATERIEL ET METHODES 15

2.1 Parcelles d'essais 15

2.2 Cultures 15

2.3 Propriétés physiques des sols 17

2.4 Propriétés chimiques des sols 18

2.5 Etudes en serre 19

3. RESULTATS ET DISCUSSION 23

3.1 Effets de l'installation d'un oléoduc 23

3.1.1 Rendements des cultures 23

3.1.2 Hauteur des cultures 28

3.1.3 Teneurs en substances nutritives des cultures 33

3.1.4 Propriétés chimiques des sols 35

3.1.5 Propriétés physiques et mécaniques 40

3.2 Effet de la fumure N-P-K sur du maïs cultivé en serre sur sols de l'emprise de l'oléoduc 53

3.2.1 Azote 55

3.2.2 Phosphore 58

3.2.3 Potassium 59

3.2.4 Forte fertilisation N-P-K 59

3.3 Effets du mélange de terre de surface et de sous-sol sur les rendements 64

3.4 Sensibilité des couches superficielles et subsuperficielles à la compaction 71

3.5 Effets de la compaction du sol à diverses teneurs en eau sur les rendements du maïs 78

3.6 Décapage de la terre de surface 80

4. REPERCUSSIONS DE L'ETUDE SUR LES METHODES DE CONSTRUCTION 83

BIBLIOGRAPHIE 86

ANNEXE 89

Mesures de conservation des terres proposées pour l'aménagement des pipe-lines 89

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude aux agriculteurs qui ont collaboré à la réalisation de cette étude et sans l'aide desquels elle aurait été impossible. Nos remerciements s'adressent également à W. Woods et R. Boyd pour l'aide qu'ils ont apportée dans le travail de terrain et de serre, à C. O'Meara, L. Dowser, W. Zebchuk, E. Vendette et D. Corneau pour les mesures de laboratoire, ainsi qu'à A. MacKenzie, D. Neilsen, A. Ramsay, C. Topp et D. Coote pour leur appréciation des résultats. Une mention spéciale est due à l'Office national de l'énergie pour son appui financier.

CONCLUSIONS

Des études ont révélé que l'installation de l'oléoduc Sarnia-Montréal avait des effets préjudiciables sur les rendements des cultures et les propriétés physico-chimiques du sol des terrains qu'il traversait. On a pu constater que ces travaux entraînaient le mélange et la compaction des sols de texture moyenne à fine situés dans le corridor emprunté par l'oléoduc. En revanche, la compaction n'a pas semblé poser de problèmes à une station sur sol à texture grossière. Des analyses chimiques des sols ont révélé que les déblais de la tranchée étaient répandus sur toute la largeur de l'emprise dans la plupart des emplacements. Cette pratique est à éviter. En effet, la réduction de la teneur en matière organique du sol qu'elle entraîne nuit à sa composition azotée et à son état d'ameublissement. Par comparaison avec les sols voisins non dérangés, les sols d'emprise de texture moyenne à fine affichaient des porosités et des conductivités hydrauliques réduites, mais des résistances mécaniques accrues. Il est donc recommandé que la construction des pipe-lines se fasse sur sols ressuyés (de juin à septembre) ou gelés jusqu'à une profondeur de 20 cm si l'on veut éviter ses effets nuisibles sur les terres agricoles. A cet égard, la méthode qui consiste à ne décaper que la terre de surface de la tranchée, mais pas de tout le chantier, pourrait s'avérer utile.

RESUME DES RESULTATS

L'étude de la qualité et du rendement des grandes cultures produites à certaines stations le long de l'oléoduc Sarnia-Montréal a révélé que:

- les rendements obtenus dans les stations d'emprise du comté de Lambton diminuaient d'environ 50% au cours de deux premières années suivant la pose. Des baisses de rendement plus faibles, quoique importances, s'observaient encore à certains emplacements en 1979, soit quatre ans après l'installation
- les rendements du maïs à ensilage dans l'est de l'Ontario ont baissé d'environ 40% en 1977, première année après l'installation
- la réduction de hauteur des plants constatée au milieu de l'été sur l'embrise s'est révélée en bon indicateur des baisses de rendement du maïs grain et du soja au cours de cette saison
- les différences de hauteur du maïs et du soja observées en milieu d'été entre l'emprise et les champs attenants étaient en moyenne d'environ 55% en 1976 et 25% en 1979, ce qui témoigne de l'amélioration considérable des rendements sur l'emprise au cours de cette période. En revanche, les différences de hauteur des petites céréales sont demeurées pratiquement inchangées au cours de la même période
- la pose de l'oléoduc n'a influé que légèrement sur la teneur en substances nutritives des récoltes, bien que la précocité (en particulier celle du maïs à ensilage) pouvait être retardée à certains endroits

L'analyse chimique des échantillons de sols prélevés aux emplacements d'essais a mis en évidence un brassage considérable des couches superficielle et subsuperficielle, tant sur la tranchée même que dans l'aire de chantier. Dans la couche de 0 à 15 cm, la teneur en matière organique, la concentration en azote total et les capacités d'échange cationique (C.E.C.) étaient plus faibles au-dessus de la tranchée et dans l'aire de chantier que dans les sols voisins non dérangés. D'autre part les teneurs en P et en K paraissaient un peu moindres sur l'emprise qu'aux abords. Autres indices du brassage des sols, le pH et les concentrations en carbonates étaient plus élevés dans l'emprise, encore que ces facteurs n'aient pas été assez prononcés pour nuire à la productivité. Dans la couche de 15 à 30 cm de l'aire de chantier, les teneurs en matière organique et en azote total avaient tendance à dépasser celles des terres voisines non dérangées, ce qui peut s'expliquer par l'épandage du sous-sol de la tranchée sur la terre de surface de l'emprise. Peut-être les ornières de roulage des véhicules ont-elles également contribué à mélanger le sol dans l'aire du chantier.

La détermination de certaines propriétés physiques des sols a révélé que:

- dans le comté de Lambton les densités apparentes et l'indice de résistance au pénétromètre à cône étaient constamment plus élevés, mais les conductivités hydrauliques à saturation étaient plus faibles sur l'emprise que dans les champs adjacents. L'installation de l'oléoduc entraînait une réduction de la porosité totale, et partant une baisse des taux de conductivité de l'eau.

- d'après les courbes de désorption de l'eau du sol pour l'emplacement le plus durement touché (Brookston), l'installation du pipe-line réduisait non seulement la porosité totale, mais également la capacité de rétention d'eau. Peut-être le changement de porosité dans le corridor était-il attribuable à la fois au mélange des sols et à la compaction
- les sols de l'emprise affichaient un plus grand indice de résistance à la pénétration (pénétromètre à cône). Cette différence pourrait être due à l'altération des propriétés de rétention et de conductivité hydraulique causée par la perturbation
- la teneur en argile des couches superficielles augmentait aux stations du comté de Lambton où les sols non dérangés se composaient d'horizons superficiels à texture légère reposant sur des matériaux d'origine à texture plus lourdes
- l'aménagement de l'oléoduc n'a pas eu d'effet sur les densités apparentes ni les conductivités hydrauliques des zones de chantier à un emplacement sableux de la région de Durham

La pose d'un oléoduc d'un diamètre de 30 cm par temps relativement propice à l'automne de 1977 s'est néanmois soldée par une réduction des porosités totale et non capillaire d'une argile Haldimand.

On a analysé des données tirées du Système canadien d'information sur les sols (CanSIS) et élaboré des équations reliant les propriétés de plasticité et de compacité de certains sols du Québec et de l'Ontario à la teneur en C organique et à la granulométrie.

Des études en serre ont révélé que l'abaissement des teneurs en N organique des sols de l'emprise justifiait l'accroissement de la fumure azotée. On a également conduit des essais de fertilisation en serre sur des sols superficiels prélevés d'une emprise de pipe-line installée en hiver (sol gelé) et du corridor de l'oléoduc Sarnia-Montréal aménagé en automne (sol non gelé et détrempé). Les résultats ont montré que les rendements du maïs cultivé sur sols d'emprise travaillés en hiver se comparaient à ceux du maïs cultivé sur sols non dérangés pour autant que le premier soit suffisamment fertilisé. Par ailleurs, la fumure n'a pu éliminer les baisses de rendement enregistrées sur sol d'emprise aménagé en automne.

1. INTRODUCTION

La construction de l'oléoduc Sarnia-Montréal de septembre 1975 à mars 1976 a permis d'évaluer quelques effets de ces travaux sur la productivité des sols de l'Ontario. Cet oléoduc longe les deux autres pipe-lines déjà installés entre Sarnia et Port Credit sur une distance de 330 km. Le pipe-line original Sarnia-Port Credit avait été construit au cours de l'été et de l'automne de 1956 et 1957. Diverses boucles de ce circuit furent ensuite installées durant les étés de 1967, 1971 et 1973. Le tuyau d'acier utilisé pour l'oléoduc Sarnia-Montréal avait un diamètre de 76,2 cm et une épaisseur de 0,59 à 0,65 cm. La construction fut réalisée par divers sous-traitants pour chacun des sept tronçons qui s'étendaient sur une distance totale de 842 km entre Sarnia et Montréal. L'emprise avait 18,3 m de largeur. C'est le creusage de la tranchée et le trafic de camions lourds apportant les tuyaux au chantier qui furent responsables de la perturbation du sol. Cette zone est désignée comme l'aire de "bardage" ou le chantier. La figure 1 montre les "tronçons" indiquant l'emplacement de l'oléoduc.

On s'attendait à ce que l'aménagement de l'oléoduc influe de diverses façons sur la productivité des sols: envahissement par les mauvaises herbes, perturbation des systèmes de drainage souterrain, compaction du sol et perte de terre de surface ou son mélange avec le sous-sol. Nos études avaient pour objet d'évaluer l'effet de cet aménagement sur les rendements des cultures et les propriétés physico-chimiques du sol. Cannel (1977) a passé en revue l'effet

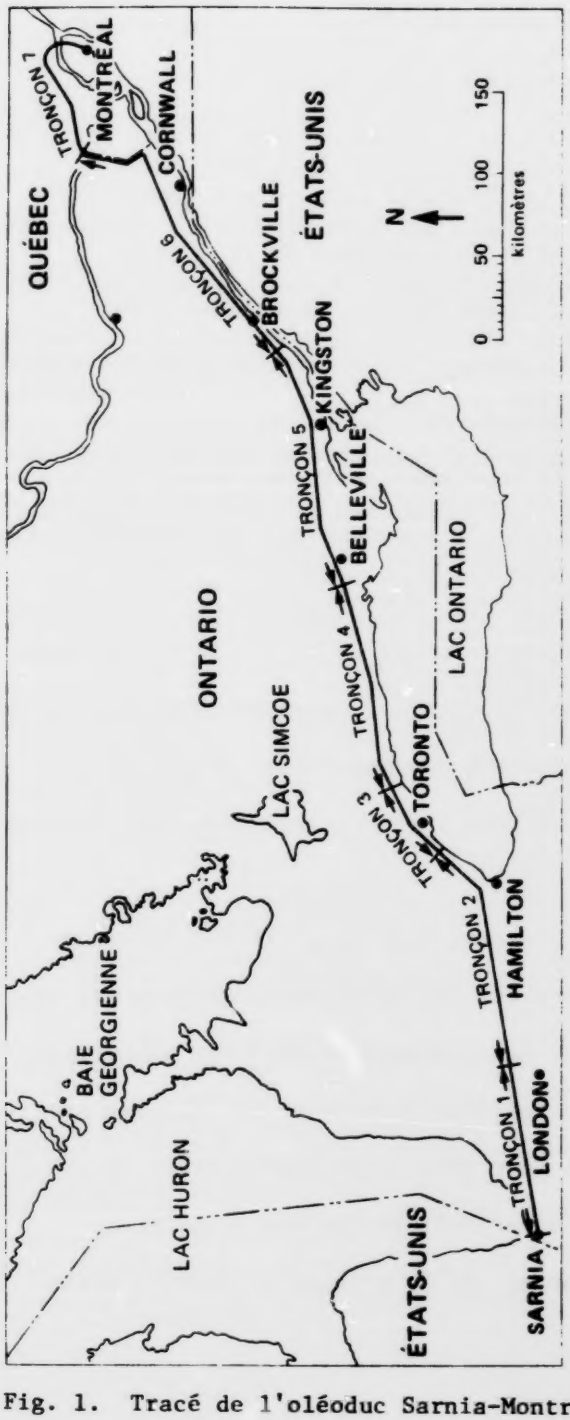

Fig. 1. Tracé de l'oléoduc Sarnia-Montréal.

nuisible bien reconnu de la compaction du sol sur la productivité. Halstead et al. (1957) et Eck et al. (1975), entre autres, ont étudié le rendement relatif de la terre de surface par rapport au sous-sol correspondant. Les informations de terrain sur les répercussions de l'aménagement de pipe-lines sur les sols canadiens sont plutôt rares. Les effets éventuels ont été récemment examinés par Shields (1980). Pour leur part, DeJong et Button (1973), ainsi que Toogood (1974), n'ont pu constater que peu d'effet sur les rendements de céréales cultivées sur deux ordres de sol commun (chernozémique et solonetzique) de l'ouest du Canada. Quant à Marsan et al. (1978b), ils ont étudié les rendements de foin, d'avoine et de maïs cultivés en 1978 sur 25,6 km d'emprise d'un gazoduc de 61 cm de diamètre construit dans le sud-ouest du Québec au cours des hivers de 1976 et 1977. Ils en ont conclu que sur 37% du corridor, les rendements des cultures étaient médiocres ou inférieurs à ceux obtenus sur les terres riveraines non dérangées. Sur 41% de l'emprise cependant, les rendements étaient supérieurs.

Le tableau 1 donne une idée très simplifiée de la nature des sols et de leurs aptitudes agricoles sur le tracé de l'oléoduc. Les argiles lourdes mal drainées sont largement répandues dans les tronçons 1, 6 et 7. Quant aux sols superficiels reposant sur assise rocheuse, ils se retrouvent pour la plupart dans les tronçons 2 et 5. La pierrosité constitue une limite dans bon nombre des sols des tronçons 5, 6 et 7. Les meilleurs sols agricoles se situent dans les tronçons 1, 2 et 4, bien que des îlots de sol productif se rencontrent

Tableau 1. Caractéristiques générales et aptitudes agricoles des sols de l'emprise de l'oléoduc Sarnia-Montréal

Tronçon	Longueur (km)	Comtés/municipalités	Période de construction	Caractéristiques générales des sols*	Aptitudes agricoles des sols**
		Lambton, Middlesex	Septembre à décembre 1975	Environ 2/3 de ce tronçon traverse des sols argileux. Le reste se compose de loam d'origine glaciaire, loam limoneux, sable et gravier.	Presque exclusivement classes 1 à 3. Sols mal drainés 2w. Sols généralement 3t sur relief ondulé dans les comtés de Middlesex et d'Oxford.
		Oxford, Waterloo, Hamilton-Wentworth, Halton, Peel	Septembre à décembre 1975	Assortiment varié de sols. Environ 10% de ce tronçon passe par des sols superficiels reposant sur assise rocheuse.	Les classes d'aptitudes varient de 1 et 2 sur loam argileux, loam et limon, à 7 sur sols superficiels reposant sur assise rocheuse.
		Toronto	September à décembre 1975	Généralement loam argileux et loam.	Se situe presque entièrement dans le Toronto métropolitain, de sorte que la question des aptitudes agricoles perd son utilité.
		Durham Northumberland	Septembre à décembre 1975	Forte proportion de sols bien et imparfaitement drainés de texture moyenne dans la région de Durham. Plus à l'est, on observe une plus grande proportion de sols sableux et une topographie ondulée.	La plupart des sols de la région de Durham appartiennent aux classes 1 et 2. Ceux situés plus à l'est dans le comté de Northumberland se situent généralement entre 2 et 6.

Hastings, Lennox et Addington, Frontenac	Octobre 1975 à mars 1976	Environ 1/3 de ce tronçon (30 000) passe par des sols superficiels sur roc. Un autre tiers coupe des argiles mal drainées.	Les sols superficiels reposant sur assise rocheuse sont des classes 6 et 7; les argiles mal drainées sont 3w. La plupart des autres sols varient de 1 à 4.
Leeds, Grenville, Dundas, Stormont, Glengarry	Octobre 1975 à mars 1976	Forte proportion d'argiles mal et insuffisamment drainées le long de ce tronçon. Aussi quelques sols reposant sur till pierreux et ondulé.	Les argiles mal drainées sont des classes 2w et 3w. Les sols reposant sur till bien drainé varient de 2 à 6 selon la pierrosité et la topographie.
Vaudreuil, Argenteuil Deux Montagnes, Terrebonne, L'Assomption, Montréal	Octobre 1975 à mars 1976	Ce tronçon traverse de vastes étendues d'argiles insuffisamment et mal drainées, en particulier à proximité de l'aéroport de Mirabel.	Les sols argileux rentrent pour la plupart dans les classes 2w et 3w. Les autres sols varient de 3 à 7.

* L'information sur les sols est tirée de rapports de prospection pédologique de l'Ontario et du Québec. Les rapports encore en stock sont disponibles auprès des ministères de l'Agriculture de deux provinces.

**Les informations sur les aptitudes agricoles des sols proviennent des cartes à l'échelle de 1/250 000 de l'Inventaire des terres du Canada (ITC). Ces cartes sont disponibles auprès du Centre d'édition, impression et publication, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6.

également dans les tronçons 6 et 7.

Certains des problèmes appréhendés le long du trajet étaient directement rattachés aux facteurs pédologiques et topographiques. Par exemple, les risques de compaction du sol, de mélange de la terre de surface avec du sous-sol et de perturbation du drainage étaient particulièrement élevés dans les tronçons 1, 6 et 7 à cause du mauvais drainage des argiles. Les éclats de roc dus au dynamitage posaient des problèmes sérieux dans les tronçons 2 et 5, là où l'assise rocheuse n'était recouverte que d'une mince couche de sol. La présence de pierres constituait invariablement un obstacle à l'installation du pipe-line, mais particulièrement dans les tronçons 5, 6 et 7. L'érosion de surface présentait des difficultés en terrain ondulé, principalement dans les tronçons 2, 4 et 5.

Le tableau 2 compare les précipitations mesurées dans les divers tronçons de l'Ontario en cours de construction avec les moyennes de 30 ans. Dans les tronçons 1, 2 et 4, il a fait un peu plus sec que d'habitude, alors que dans l'est de l'Ontario, il y a eu plus de précipitations que d'habitude. La température de l'air était un peu plus élevée que la moyenne en novembre 1975 et février 1976 (par une moyenne de 3,3 ^{o}C), mais plus faible en décembre (1,1 ^{o}C) et janvier 2,8 ^{o}C). Un enneignement abondant en début d'hiver et une vague de temps chaud survenue en février ont empêché le gel de pénétrer profondément dans le sol et donné lieu à plusieurs périodes de dégel. Marsan et al. (1978a) ont signalé des pénétrations gélives généralement superficielles et variables dans les tronçons 6 et 7.

Tableau 2. Précipitations totales mensuelles exprimées en pourcentage des moyennes de 30 ans pour les six tronçons de l'Ontario en cours de construction

Tronçon	1975			1976		
	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
	(% de la normale)*					
1	80	40	85	110	180	115
2	95	50	90	115	145	110
4,5	115	65	80	135	120	105
6	150	105	100	115	115	155

* Données tirées des relevés mensuels du Service d'environnement atmosphérique de Downsview (Ontario).

Ils ont également observé une très légère pénétration dans les sols mal drainés du comté du Vaudreuil (Québec) au cours de l'hiver 1976; en revanche la pénétration était suffisante (20 cm) dans les sols bien drainés.

Les travaux consignés ici s'appuient sur des observations des sols et des cultures répartis sur tout le tracé de l'oléoduc Sarnia-Montréal, sur des mesures des rendements des cultures et des propriétés physico-chimiques des sols situés à certaines stations de l'emprise et des terrains avoisinants, ainsi que sur trois expériences de serre, l'une destinée à mesurer le rendement du maïs en fonction de divers traitements de fumure de certains sols d'emprise, une autre pour évaluer la contribution au rendement de l'azote organique de la terre de surface, et une troisième en vue d'évaluer les effets de l'eau sur la compaction du sol et d'accroissements relativement faibles de la densité apparente du sol sur les rendements du maïs.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Parcelles d'essais

Des parcelles de contrôle des rendements des cultures ont été installées sur l'emprise et aux abords immédiate dans les tronçons 1, 4 et 6. Les rendements obtenus pour les emplacements du tronçon 1 ont été estimés en 1976, 1977, 1978 et 1979, ceux de la seule station du tronçon 4 ont été mesurés de 1977 à 1979 et ceux des parcelles du tronçon 6 ont été estimés en 1977 et, pour l'une d'elles aussi, en 1979.

Les cultures et les fumures utilisées sur les stations du tronçon 1 sont résumées au tableau 3. Pour ces emplacements, les apports de P et de K étaient égaux ou supérieurs à ceux recommandés pour l'Ontario (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, 1979), mais en revanche les céréales secondaires et le maïs ont reçu moins d'azote.

2.2 Cultures

Les cultures ont été échantillonés juste avant la récolte. Des échantillons de rendement ont été prélevés sur la tranchée, sur le chantier (aire de bardage) et dans les champs riverains non dérangés. (La tranchée et le chantier seront dorénavant désignés comme zones de construction). Pour ce qui est des céréales et des cultures fourragères, quatre placettes d'un mètre carré choisies au hasard dans chaque zone ont été récoltées, et pour les cultures sarclées (maïs, soja) on a récolté quatre longueurs de ligne de 2 m. À l'exception des parcelles de maïs grain, les cultures étaient fauchées à environ 2,5 cm au-dessus du niveau du sol. Seuls les épis ont été prélevés

Tableau 3. Cultures et fumure utilisées aux emplacements de contrôle situés sur sols Perth et Brookston dans le tronçon 1.

Emplacement	Année	Culture	Fumure (kg/ha)		
			N	P_2O_5	K_2O
---------- Perth ----------					
	1976	Orge	+	+	+
1	1977	Maïs grain	143	125	63
	1978	Maïs grain	27	108	54
	1976	Soja	31	125	63
3,4	1977	Mélanges de céréales	31	125	63
	1978	Blé d'hiver	91(59)**	125	63
---------- Brookston ----------					
1		Soja	22	90	45
		Soja	22	90	45
		Soja	22	90	45
		Maïs grain	22	90	45
2		Orge	61	38	38
		Soja	22	90	45
		Maïs grain	31	125	63
3		Mélanges de céréales	27	108	54
		Maïs grain	31	125	54

* L'emprise a reçu 39 t/ha de fumier solide de vache, ainsi que 40, 161 et 81 kg/ha de N, P_2O_5 et de K_2O respectivement après la récolte en 1976.

\+ Données non disponibles

** Les quantités d'engrais figurant entre parenthèses ont été épandues au printemps; le reste a été appliqué au semis en 1977.

des parcelles de maïs grain. La hauteur des cultures aux emplacements de détermination du rendement et aussi à d'autres emplacements choisis le long de l'emprise a été mesurée les 20 et 21 juillet 1976 et les 11 et 12 août 1979. Dans chaque zone, les mesures ont été prises sur 10 plants choisis au hasard.

Les échantillons ont été séchés à 70 ^{o}C et on a calculé la teneur en eau à la récolte des échantillons de maïs d'ensilage. Le soja et les céréales ont été battus, puis les rendements de grain et de paille ont été enregistrés.

On a également mesuré les teneurs en phosphore et potassium des cultures après combustion des échantillons à 350 ^{o}C et hydrolyse dans HCl 6N. Les dosages du P et du K ont été effectués respectivement par la méthode du molybdate d'ammonium (avec l'acide ascorbique comme réducteur) et par spectrophotométrie d'absorption atomique. On a aussi utilisé la méthode Kjeldahl ordinaire (comportant NO_2 + NO_3) pour doser l'azote total du matériel végétal.

2.3 Propriétés physiques des sols

À la récolte en 1976 et 1977 deux carottes (7,5 x 7,5 cm) de sol ont été prélevées de chacune des couches de 0 à 15 cm et de 15 à 30 cm de profondeur dans les zones de construction des stations du tronçon 1 et du tronçon 4 (seulement en 1977). Une quantité suffisante de sol était également prélevée par un échantillonneur en "T" de chaque couche dans chacune des zones à tous les emplacements. En septembre 1976, on a aussi prélevé des échantillons de sol de

surface à cinq autres stations du tronçon 1 et à 15 emplacements du tronçon 6. La conductivité hydraulique à saturation (K_h) des carottes a été mesurée au moyen d'une colonne d'eau constante de 2,5 cm (McKeague, 1978). On a également déterminé la densité apparente (Bd) de chaque carotte saturée après séchage pendant une nuit à 105 ^{o}C. La granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette (McKeague, 1978). Trois carottes provenant de la couche 0 à 15 cm de chaque zone de l'emplacement 2 du sol Brookston ont été prélevées en septembre 1979, avant la récolte. Les courbes de désorption de l'eau du sol sur ces échantillons ont été déterminées selon la méthode de Topp et Zebchuk (1979).

Les mesures de pénétromètre utilisant un pénétromètre à cône du commerce ont été faites en juin 1978 et mai 1979 sur les stations du tronçon 1. On a enregistré la pression maximale requise pour enfoncer le cône (base de 1,5 cm^2, 30^{o}) à une profondeur de 15 cm. Vingt mesures ont été prises dans chaque zone à chacune des stations au cours des deux années. À certains emplacements, on a également déterminé par les méthodes standards les limites d'Atterberg de la couche de 0 à 15 cm dans chaque zone (McKeague, 1978).

2.4 Propriétés chimiques des sols

Les échantillons de sol prélevés des stations ont servi à doser le P extractible au bicarbonate ($NaHCO_3$ 0,5 M, pH 8,5), le K échangeable dans l'acétate d'ammonium (NH_4OAc), le N total, le C organique (combustion humide, titration), le C inorganique (méthode

gravimétrique approximative), le pH (dans une suspension de sol et d'eau à parts égales) et la C.E.C. (échangeable par NH_4OAc, pH 7). Le détail des diverses méthodes utilisées peut se lire dans le manuel rédigé par McKeague (1978).

2.5 Etudes en serre

Trois études en serre ont été effectuées. La première avait pour objet de déterminer la réponse à la fumure N, P et K du maïs cultivé dans les sols d'emprise aménagés en automne (sol détrempé non gelé) et en hiver (sol gelé). Deux sols, un loam argileux lacustre (série North Gower) et un till lourd (série Morrisburg), du tronçon 6 ont été choisis pour fins de comparaison. Dans les chantiers d'automne, la terre de surface de la tranchée avait été décapée avant la construction. Après la pose de l'oléoduc, on a replacé d'abord le sous-sol, puis par-dessus la terre de surface. Une berme a été laissée au-dessus de l'oléoduc en prévision de la subsidence ultérieure du remblai. On a fait du nettoyage quand on le pouvait (labour au chisel et épierrage), mais souvent on a travaillé les sols lorsqu'ils étaient mouillés. Des échantillons de deux emplacements d'hiver (1976) ont été prélevés d'une emprise d'un gazoduc voisin. Les sols étaient gelés aux deux emplacements durant la construction (A.F. Mackenzie, communication personnelle). La terre de surface n'avait pas été enlevée au préalable et le nettoyage a été retardé jusqu'à ce que le sol soit en état de se travailler.

On a prélevé du sol de la couche de 0 à 15 cm de chaque zone de construction à tous les emplacements. Les stations d'échantillonnage étaient proches de celles choisies par Mackenzie (1977, 1978a, b). Les sols ont été séchés à l'air et passés dans un tamis à mailles de 1,25 cm. Environ 5,5 kg de sol ont ensuite été tassés dans des pots en plastique jusqu'à obtention d'une densité apparente de 1,2 g/cm^3. Les traitements comprenaient un témoin, N, P, K, NP, NK, PK, NPK et double dose de NPK, N, P et K désignant respectivement des doses de fumure de 168, 98,6 et 186,0 kg/ha. Les engrais utilisés étaient le NH_4NO_3, le $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ et le KCl. Chaque traitement comportait quatre répétitions. Trois plants de maïs (Zea mays L., Co-op H-7) ont été cultivés dans chaque pot pendant 10 semaines, après quoi les trois plants entiers ont été récoltés, séchés à 70 °C et ensuite pesés. Des sous-échantillons ont été moulus et analysés par les méthodes décrites plus haut. On a également échantillonné et analysé des sols pour le pH, la C.E.C., le N total, la teneur en K par la méthode Pand et la distribution granulométrique.

La seconde expérience en serre évaluait les effets du mélange de la terre de surface (couche de 0 à 15 cm) avec le sous-sol (tranche de 20 à 40 cm) sur les rendements du maïs et l'absorption de N en régime de fumure azotée modérée (112 kg de N/ha). ON a utilisé dans cette expérience trois sols de texture différente largement répandus dans l'est de l'Ontario, soit le loam Grenville, le loam limoneux Castor et l'argile Rideau. Les mélanges de sols comprenaient respectivement 100, 75, 50, 25 et 0% de terre de surface pour 0, 25, 50, 75 et 100% de sous-sol. On a tassé 6 kg de sol dans des pots en

plastique jusqu'à obtention d'une densité apparente de 1,1 g/cm^3; tous les pots ont reçu 112 kg/ha de N, P et K avant de semer le maïs. Chaque traitement comprenait quatre répétitions. Trois plants de maïs ont été cultivés dans chaque pot pendant 10 semaines. On a ensuite mesuré leurs rendements (M.S.) et leurs teneurs en azote.

L'objet de la troisième expérience était d'étudier les effets de la compaction du sous-sol ou de la terre de surface à divers degrés d'humidité sur les rendements végétatifs du maïs. On a déterminé les courbes normales de compaction Proctor (Lambe, 1951) pour les couches superficielle et subsuperficielle des trois sols utilisés dans la deuxième expérience. Pour les traitements de compaction du sous-sol, on a tassé environ 3 kg de sous-sol tamisé à diverses teneurs en eau dans des pots en plastique jusqu'à obtention d'une densité apparente initiale de 1,1 g/cm^3. Les teneurs en eau choisies étaient de 25, 50, 100 et 125% de la teneur optimale pour la compaction (Proctor) des sous-sols. La compaction a été produite en exerçant une pression de 4 kg/cm^2 sur une plaque d'acier recouvrant complètement la surface du sous-sol dans le pot. Le traitement était appliqué cinq fois à chaque pot. On a ensuite ajouté approximativement 3 kg de terre de surface à chacun des pots et on l'a tassée jusqu'à densité apparente de 1,1 g/cm^3. Pour les traitements de compaction de la terre de surface, on a tassé 3 kg de sous-sol de la même teneur en eau que celle utilisée pour le sous-sol dans des pots en plastique jusqu'à une densité apparente de 1,1 g/cm^3. On a ensuite versé de la terre de surface à diverses teneurs en eau (25, 50, 100 et

125% de la teneur optimale pour la compaction de chaque terre de surface) à chaque pot et on l'a tassée jusqu'à obtention d'une densité apparente de 1,1 g/cm^3. La terre de surface a ensuite été compactée de la même façon et à la même pression que dans les traitements de compaction du sous-sol décrits ci-dessus. Des quantités légèrement différentes de terre de surface et de sous-sol ont été nécessaires dans chaque traitement pour maintenir constante (à 7,5 cm) la profondeur de chaque couche de chaque type de sol. La profondeur totale des sols de chaque pot était de 15 cm. On a appliqué la même dose de fumure N-P-K (112 kg/ha) que dans la seconde expérience, avec en plus un apport complémentaire de 112 kg de N entre les troisième et quatrième semaines après la levée. Trois plants de maïs ont été cultivés dans chaque pot pendant 10 semaines. On a ensuite mesuré les rendements du maïs (matière sèche).

La pression de compaction utilisée dans cette expérience (4 kg/cm^2) correspondait d'assez près à la pression de contact exercée sur le sol par les pneus arrière des camions lourdement chargés de tuyaux d'acier utilisés dans la construction de l'oléoduc Sarnia-Montréal. Cette pression de contact est bien supérieure à celle normalement exercée sur le sol par les pneus des machines agricoles. Raghavan et al. (1976) ont mesuré les pressions de contact de plusieurs tracteurs dotés de divers nombres et tailles de pneus. Ces pressions variaient d'environ 0,2 kg/cm^2 pour un petit tracteur travaillant à vide à environ 1,1 kg/cm^2 pour un quatre-roues motrices pesant 6 300 kg et tirant une charge d'environ 3 500 kg.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Effets de l'installation d'un oléoduc

3.1.1 Rendements des cultures

Les rendements des cultures sur l'emprise ont été très variables dans la plupart des stations, particulièrement en 1978 et 1979. Puisque le protocole expérimental ne comprenait que quatre répétitions, les baisses moyennes de rendement de moins de 20% par rapport aux sols non dérangés n'étaient pas statistiquement significatives au seuil de probabilité de 0,05. L'accroissement du nombre de répétitions à chaque emplacement aurait probablement produit des différences de rendement significatives plus nombreuses entre les emplacements d'emprise et voisins. À noter également que la méthode de Tukey appliquée à ces données passe pour être un test prudent de signification (Steel et Torrie, 1960), alors que le critère plus courant, celui de la plus petite différence significative, n'a que 80% de la valeur W de Tukey au seuil de 0,05.

Les rendements en grains (matière sèche) de l'emprise aux trois stations Brookston étaient substantiellement réduits en 1976 et 1977 (tableau 4). Les rendements obtenus sur la tranchée et l'aire de travail n'atteignaient en moyenne que 45 et 39% respectivement de ceux obtenus des champs attenants. En 1978, les rendements sur l'emprise ont surpassé ceux des terrains riverains non dérangés à une station de culture de maïs et une de soja, mais la tendance se renversait en 1979. À l'emplacement caractérisé par une forte réduction de rendement pour chacune des quatre années, les rendements

Tableau 4. Rendements de grains (matière sèche) sur sols Brookston et Perth - Emprise de l'oléoduc et terrain avoisinants (tronçon 1 - comté de Lambton)

Emplacement	Année	Culture	Rendement en grain (t/ha)			Test de signification W de Tukey (p <0,05)	Rendement de paille (t/ha)			Test de signification de Tukey (p <0,05)
			Tranchée	Chantier	Terrain non dérangé		Tranchée	Chantier	Terrain non dérangé	
					Série Brookston					
1	1976	Soja	1.30	0.98	1.68	0.71*	-	-	-	-
	1977	Soja	1.29	1.39	1.99	0.49	-	-	-	-
	1978	Soja	1.85	1.44	1.58	1.24	-	-	-	-
	1979	Blé d'hiver	2.47	2.32	2.58	0.68	6.21	5.51	8.06	2.45
2	1976	Maïs	1.56	1.23	5.61	1.50	-	-	-	-
	1977	Orge	1.25	1.46	4.18	1.06	1.20	1.49	3.87	0.61
	1978	Soja	1.36	1.10	2.15	0.50	-	-	-	-
	1979	Soja	2.31	1.64	3.01	0.41	-	-	-	-
3	1976	Maïs	1.24	0.62	3.11	1.49	-	-	-	-
	1977	Mélanges de céréales	0.89	0.84	2.92	1.05	1.40	1.33	3.48	0.91
	1978	Maïs	8.14	6.20	5.22	3.54	-	-	-	-
	1979	Maïs	6.14	5.40	6.99	2.61	-	-	-	-
					Série Perth					
1	1976	Orge	N.D.†	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-	-
	1977	Maïs	4.12	3.35	6.47	0.67	-	-	-	-
	1978	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-	-	-
	1979	Blé d'hiver	2.32	2.10	2.46	0.58	4.91	4.66	5.75	1.50
2	1976	Soja	1.38	1.80	2.19	1.19	-	-	-	-
	1977	Soja	2.09	2.11	2.85	0.24	-	-	-	-
	1978	Soja	2.62	1.06	1.88	1.52	-	-	-	-
	1979	Soja	1.23	0.88	1.13	0.41	-	-	-	-
3	1976	Soja	3.45	2.15	3.92	1.00	-	-	-	-
	1977	Mélanges de céréales	1.68	2.97	4.28	1.84	1.85	3.11	4.88	2.06
	1978	Blé d'hiver	3.56	3.45	3.86	1.08	4.93	5.10	6.37	1.09
	1979	Luzerne**	1.16	1.04	1.08	0.32	-	-	-	-
4	1976	Soja	1.76	1.62	3.05	1.42	-	-	-	-
	1977	Mélanges de céréales	2.78	2.67	4.04	1.25	3.06	3.04	4.17	1.51
	1978	Blé d'hiver	3.67	3.29	4.22	1.47	5.37	4.89	6.73	2.41
	1979	Luzerne**	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-	-	-

† non déterminé
** 3e coupe
* les moyennes dans chaque ligne différant de plus que la valeur W de Tukey sont significativement différentes au seuil de probabilité de 5%. La plus petite différence significative peut se calculer en multipliant la valeur W, par 0,63 (p <0,10), par 0,80 (p <0,05) et par 1,20 (p <0,01).

enregistrés sur la tranchée par rapport à ceux des terrains non dérangés sont passés de 28% en 1976 à 77% en 1979, alors que sur l'aire de chantier, les chiffres correspondants étaient de 22 et 54%. Bien que les façons culturales aient évolué dans toutes les stations, les différences de rendement (en pourcentages du rendement des parcelles non dérangées) se sont rétrécies au cours des quatre premières années suivant l'installation de l'oléoduc sur loam argileux Brookston.

Des résultats du même ordre ont été obtenus sur les parcelles un peu mieux drainées de sol Perth. Les rendements sensiblement déprimés des deux premières années (35 et 34% respectivement sur la tranchée et le chantier) se sont améliorés de façon spectaculaire durant les troisième et quatrième années, sans pour autant rejoindre, en 1979, ceux des terrains attenants non dérangés. En général, les rendements de paille observés aux deux emplacements Brookston et Perth suivaient les rendements grainiers (tableau 4).

A la différence des résultats obtenus sur les sols à texture généralement lourde du tronçon 1, les réductions de rendement du maïs grain enregistrées sur sable Brighton (tronçon 4) ne se sont pas matérialisées avant 1979 (tableau 5). L'observation visuelle donne à penser que c'est une carence d'azote qui a causé cette baisse de rendement observée sur l'emprise en 1979.

En 1977, les rendements de maïs à ensilage sur l'emprise ont fléchi aux quatre stations de sol limoneux du tronçon 6 (tableau 5). Les baisses de rendement atteignaient respectivement 42 et 45% sur la tranchée et le chantier. Les données prélevées à l'un de ces

emplacements en 1979 font état d'une certaine amélioration avec le temps, bien qu'une baisse sensible de rendement fut encore apparente en 1979.

En 1977, Ramsay et MacKenzie (1978) ont mesuré les rendements obtenus sur l'emprise de l'oléoduc Sarnia-Montréal et sur des terrains attenants pour 91 stations situées dans les sept tronçons du pipe-line. Dans toutes les stations, ils ont constaté une réduction statistiquement significative d'environ 34% par rapport aux terrains riverains. Les baisses de rendement observées sur le chantier aux 12 emplacements retenus dans la présente étude (1977) concordaient assez bien avec celles de Ramsay et MacKenzie (43% en moyenne). Seuls deux emplacements, l'un sur sable avec du maïs grain et l'autre sur loam argileux avec des mélanges de céréales, ont produit des différences non significatives de rendement entre l'emprise et les terrains adjacents au cours de l'année en question. Ramsay et MacKenzie ont observé des baisses de rendement non significatives sur emprise dans les parcelles semées en soja et en maïs grain, mais significatives dans les parcelles en céréales de printemps (45%), foin (43%), blé d'hiver (37%) et maïs d'ensilage (20%).

Ils ont également constaté que les baisses de rendement causées par les travaux augmentaient en fonction de la teneur en argile du sol, observation que semblent confirmer les quelques données obtenues en 1977 (tableaux 4 et 5). Les résultats quelque peu discordants obtenus dans ces deux études sur la sensitilité du soja et du maïs soulignent à toutes fins pratiques l'importance de l'emplacement sur les effets de la construction de l'oléoduc sur les rendements des cultures.

Tableau 5. Rendement du maïs (matière sèche) cultivé sur sols de diverses textures dans l'emprise de l'oléoduc et sur des terrains adjacents (tronçon 6 - comtés de Leeds, Dundas et Glengarry, et tronçon 4 - municipalité régionale de Durham)

Séries de sols	Année	Culture	Rendement (t/ha) Tranchée	Chantier	Terrain non dérangé	Test de signification W de Tukey ($p < 0,05$)
			Tronçon 6			
Loam Matilda	1977	Maïs d'ensilage	3.34	4.70	7.60	3.00*
Loam Matilda	1977	Maïs d'ensilage	10.73	8.71	15.04	4.10
Loam Osgoode	1977	Maïs d'ensilage	10.00	9.97	15.56	3.49
Loam argileux	1977	Maïs d'ensilage	8.29	5.99	16.43	3.92
Morrisburg	1979		9.78	6.55	14.48	1.85
Loam argileux Belmeade (North Gower)	1978	Maïs grain	5.90	6.59	7.32	3.70
			Tronçon 4			
Sable Brighton	1976	Maïs grain	3.63	3.65	4.32	1.43
	1977	Maïs grain	4.43	3.39	5.00	2.39
	1978	Maïs grain	4.39	3.35	4.96	2.37
	1979	Maïs grain	3.63	2.83	5.05	1.40

* les moyennes dans chaque ligne différant de plus que la valeur W de Tukey sont différentes au seuil de probabilité de 5%.

3.1.2 Hauteur des cultures

Les mesures de la hauteur des cultures produites sur l'emprise de l'oléoduc et sur les terrains avoisinants ont été effectuées à certains emplacements des tronçons 1, 2 et 4 à la fin de juillet 1976, et les tronçons 1, 2, 4, 5 et 6 au début d'août 1979. Les stations pour lesquelles la hauteur des cultures à la mi-saison et les rendements finals sont disponibles ont fourni une assez bonne corrélation (1/1) entre la hauteur et le rendement du maïs grain et du soja obtenu sur l'emprise (fig. 2). On ne dispose pas de données pour les céréales. Aux emplacements sur argile et sur loam argileux, la hauteur des cultures sur l'emprise par rapport à celle obtenue sur les terrains non dérangés est passée d'environ 60% en 1976 à 80% en 1979 (tableau 6), alors qu'aux stations de loam limoneux, elle passait d'environ 42% en 1976 à près de 76% en 1979 et aux stations sur loam, l'amélioration était d'environ 20% (tableau 7). En 1979, la hauteur des cultures sur emprise traversant des sables et des loams sableux atteignait en moyenne 75% environ de celle observée sur les terres riveraines. Malgré la grande variabilité de texture des sols enregistrée aux stations de 1979, la réduction de taille des cultures attribuable à l'installation de l'oléoduc était sensiblement la même à tous les emplacements.

L'analyse combinée des cultures produites sur tous les types de sols d'emprise a révélé un accroissement de la hauteur moyenne du maïs et des fèves (soja et haricots) en 1979 par rapport à 1976 (tableau 8). Dans ce même intervalle, la hauteur du soja s'est accrue respectivement sur la

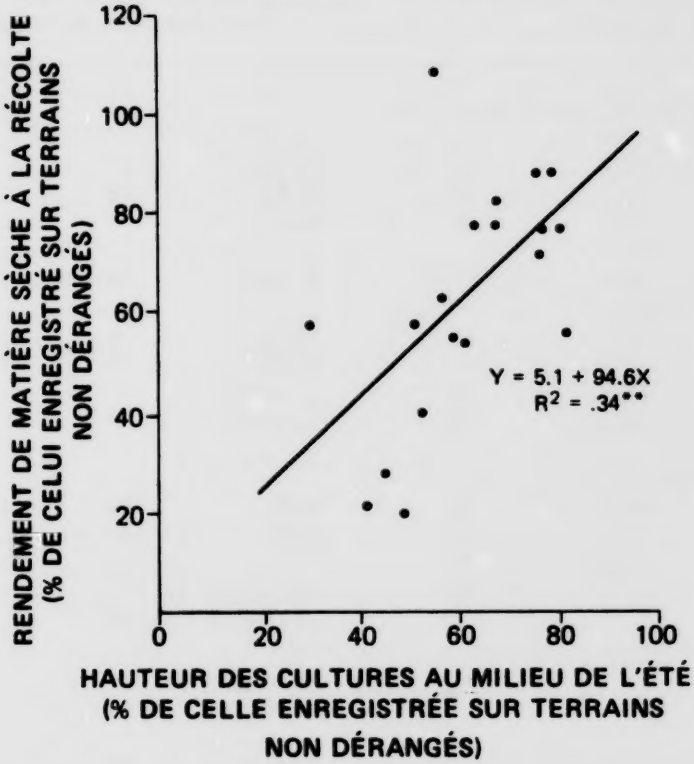

Fig. 2. Rapport entre le rendement de matière sèche à la récolte et la hauteur du maïs grain et du soja mesurée à la mi-été sur l'emprise de l'oléoduc Sarnia-Montréal.

Tableau 6. Hauteurs des cultures sur argiles, loams argileux et loams limoneux obtenues sur l'emprise, exprimées en pourcentage de celle enregistrées sur les terrains adjacents non dérangés.

Série de sol	Tronçon n°	Hauteur 1976			Hauteur 1979		
		Culture	Tranchée (% de celles enregistrées sur sol non dérangé)	Chantier	Culture	Tranchée (% de celles enregistrées sur sol non dérangé)	Chantier
Argiles et loams argileux							
Brookston	1	Soja	77	51	Soja	63	61
	1	Maïs	52	49	Maïs	79	80
	1	Maïs	45	41	Blé	-	-
Perth	1	Soja	57	68	Soja	56	67
	1	Orge	114	68	-	-	-
	1	Orge	70	69	Maïs	74	86
	1	-	-	-	Maïs	74	80
	1	Soja	76	59	Luzerne	-	-
	1	Soja	30	0	Luzerne	-	-
Huron	1	Mélanges de céréales	63	86	Maïs	90	90
	1	Orge	72	93	Maïs	-	-
	1	Orge	63	59	-	-	-
	2	Maïs	22	29	Mélanges de céréales	99	84
Lansdown	5	-	-	-	Mélanges de céréales	67	71
Napanee	5	-	-	-	Avoine	85	90
Morrisburb	6	-	-	-	Maïs	88	91
Moyennes			62	56		78	80
Loams limoneux							
Huron	1	Maïs	41	65	Maïs	74	98
Tuscola	1	Maïs	43	49	Maïs	81	84
Embro	1	Maïs	40	37	Haricots	92	86
					Mélanges de céréales	45	53
Moyennes			41	43		73	80

Tableau 7. Hauteurs des cultures obtenues sur loams, loams sableux et sables exprimées en pourcentages de celles enregistrées sur les terrains adjacents non dérangés.

Séries de sol	Tronçon n°	1976 Culture (% de celle enregistrée sur sol non dérangé)	Tranchée	Chantier	Hauteur 1979 Culture (% de celle enregistrée sur sol non dérangé)	Tranchée	Chantier
				Loams			
Brisbane	1	Orge	80	79	Soja	97	91
London	1	Maïs	32	39	Maïs	63	87
		Maïs	-	-	Avoine	76	78
London	1	Maïs	39	36	Maïs	49	72
		Maïs	-	-	Avoine	41	59
Guelph	2	Maïs	67	63	Maïs	70	81
		-	-	-	Avoine	82	85
Bondhead	4	Avoine	58	67	Maïs	76	88
	4	Maïs	-	-	Haricots	68	60
	4	-	-	-	Avoine	63	81
	4	Maïs	-	-	Maïs	83	92
Percy	4	-	-	-	Maïs	77	90
Otonabee	5	-	-	-	Maïs	58	81
Matilda	6	Maïs	-	-	Maïs	84	97
Osgoode	6	Maïs	-	-	Avoine	57	73
	6	Pâturage	-	-	Mélanges de céréales	71	75
Moyennes			55	57		70	81
				Loams sableux et sables			
Grimsby	2	Pommes de terre	-	-	Pommes de terre	64	82
Guelph	2	Orge	-	-	Orge	64	75
		-	-	-	Avoine	74	83
Bondhead	5	-	-	-	Maïs	58	81
Grenville	6	-	-	-	Maïs	76	81
Uplands	6	Maïs	-	-	Maïs	70	91
Brighton	4	Maïs	-	-	Maïs	76	81
Moyennes			-	-		69	82

Tableau 8. Hauteurs des cultures enregistrées sur emprise, exprimées en pourcentages de celles obtenues sur terrains contigus non dérangés.

Culture	1976			1979		
	Nbre d'emplacements	Tranchée	Chantier	Nbre d'emplacements	Tranchée	Chantier
		Hauteur en %				
Soja et haricots	4	60	45	5	75	73
Maïs	9	42	43	19	74	86
Céréales	7	74	74	12	69	76

tranchée et le chantier de 15 à 30%, alors que celle du maïs faisait un bond encore plus spectaculaire. En revanche, la hauteur des céréales à paille semble n'avoir guère changé au cours de la même période.

3.1.3 Teneur en substances nutritives des cultures

Les teneurs en azote, phosphore et potassium des mélanges de céréales de printemps produits sur l'emprise dépassaient celles des céréales cultivées sur les terres avoisinantes en 1977 (tableau 9), ce qui concorde avec les résultats obtenus par Ramsay et MacKenzie (1978). Toutefois, l'aire de chantier n'a pas influé sur les concentrations en substances nutritives de l'orge. En contraste, les teneurs en N et P du soja cultivé sur les parcelles non dérangées ont dépassé celles du soja produit sur la tranchée. Pour leur part, les teneurs en azote du soja cultivé sur l'aire de chantier étaient intermédiaires. Les zones de construction n'ont pas eu d'effet significatif sur les concentrations en azote du maïs grain et du maïs à ensilage. Le maïs cultivé sur les terrains non dérangés semblait fournir des teneurs un peu plus faibles en K, ce qui laisse supposer un certain retard à mûrir chez le maïs cultivé sur l'emprise, hypothèse confirmée par la mesure des teneurs en eau du maïs à ensilage à la récolte. Aux stations de Morrisburg en 1979, ces teneurs étaient respectivement de 64 (± 1) %, 78 (± 3) % et 76 (± 3)% sur les terrains non dérangés, la tranchée et le chantier.

Tableau 9. Teneurs en azote, phosphore et potassium de céréales à paille, du maïs à ensilage, du maïs grain et du soja cultivés sur emprise et sur terrains contigus en 1977.

Culture	Nombre de stations	Teneur en N (%)			Teneur en P (%)			Teneur en K (%)		
		Tranchée	Chantier	Terrains non dérangés	Tranchée	Chantier	Terrains non dérangés	Tranchée	Chantier	Terrains non dérangés
Mélanges de céréales Test de signification W de Tukey*	3	2.19	2.18 (0.18)	1.89	0.43	0.43 (0.02)	0.39	0.49	0.52 (0.04)	0.47
Orge Test W de Tukey	1	1.98	2.12 (0.29)	1.89	0.41	0.46 (0.13)	0.45	0.46	0.52 (0.12)	0.57
Maïs à ensilage Test W de Tukey	4	0.98	1.06 (0.19)	1.07	0.20	0.21 (0.03)	0.20	0.78	0.82 (0.13)	0.77
Maïs grain Test W de Tukey	2	1.66	1.73 (0.19)	1.77	0.34	0.38 (0.06)	0.33	0.32	0.34 (0.04)	0.30
Soja Test W de Tukey	2	5.96	6.07 (0.18)	6.19	0.46	0.46 (0.03)	0.50	1.63	1.61 (0.11)	1.60

* Les moyennes qui diffèrent de plus que la valeur W de Tukey sont considérées comme significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.4 Propriétés chimiques des sols

En septembre 1976, les couches de surface de l'aire de chantier affichaient des valeurs C.E.C. et des teneurs en azote total significativement plus basses, mais un pH plus élevé que celles des terres voisines non dérangées (tableau 10). Les concentrations en potassium échangeable étaient significativement moindres sur l'emprise à certaines des stations du tronçon 6 (loams Eamer et loam sableux Allendale), mais étaient pratiquement inchangées sur les autres séries des tronçons 1 ou 6. A l'exception du loam argileux des emplacements du tronçon 6 (série North Gower), les teneurs en phosphore extractible avaient tendance à être inférieures sur l'emprise qu'en dehors. Les valeurs de P et de K étaient sensiblement plus faibles dans les parcelles d'emprise ayant reçu des apports annuels assez abondants de fumier avant la construction de l'oléoduc. D'une façon générale, les niveaux de fertilité en phosphore et potassium sur l'emprise et les terrains adjacents étaient modérés en septembre 1976 (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, 1979).

La C.E.C. des sols dépend essentiellement de leur teneur en matière organique et en argile. Les concentrations en argile de la couche superficielle de 0 à 15 cm ont été mesurées sur l'emprise et les sols avoisinants pour les six stations de contrôle du rendement en 1976 (séries Perth et Brookston). Les différences entre les C.E.C. des sols d'emprise et attenants non dérangés étaient positivement corrélées à celles des teneurs en azote total et en argile:

$$\Delta C.E.C. = -2,8 + 87,7 \times \Delta \text{azote total} + 0,34 \times \Delta \text{argile}$$

$$R^2 = 0,95^{**}$$

Tableau 10. Quelques propriétés chimiques de la couche superficielle de 0 à 15 cm des sols de l'emprise et des terrains adjacents non dérangés de l'oléoduc Sarnia-Montréal au cours de l'automne 1976.

Séries de sol	Nombre de stations	Capacité d'échange cationique (C.E.C.) (méq./100 g)		Azote total (%)		Phosphore extractible (ppm)		Potassium échangeable (ppm)		pH	
		Sol non dérangé	Chantier	Sol non dérangé	Chantier	Sol non dérangé	Chantier	Sol non dérangé	Chantier	Sol non dérangé	Chantier
					Tronçon 1						
Brookston	4	25.9	18.9	0.20	0.15	21	17	137	129	7.5	7.8
Perth	7	20.1	14.8	0.21	0.16	25	17	129	113	7.3	7.8
					Tronçon 6						
North Lower	5	37.3	24.6	0.41	0.24	17	31	188	176	6.6	7.5
Elmer	3	27.1	22.3	0.23	0.17	27	11	196	113	7.2	7.6
Grenville	6	21.3	18.2	0.29	0.20	18	14	90	86	6.8	7.6
Allendale	1	26.9	17.3	0.32	0.12	7	6	149	102	7.2	7.6
Moyenne		25.2	19.2	0.26	0.17	21.0	18.9	141	121	7.1	7.7
P.P.D.S.	.05	4.8		0.05		6.4		31.3		0.2	
	.01	6.4		0.07		8.6		43.0		0.3	

où: ΔC.E.C. = C.E.C. (emprise) - C.E.C. (sol non dérangé)

(méq./100 g)

Δazote total = azote total (emprise) - azote total (sol non dérangé)

(%)

Δargile = argile (emprise) - argile (sol non dérangé) (%)

Les dosages de l'azote inorganique des sols de l'emprise et non dérangés ont donné des valeurs constamment inférieures à 0,002 %. C'est donc dire que les moindres concentrations en azote total observées sur l'emprise traduisent une certaine dilution des sols de surface (horizon A) riches en matière organiques dans les couches subsuperficielles qui en contiennent moins. Acton et al. (1979) ont analysé certains sols Perth et Brookston sous régime de culture intensive dans les comtés sud de Huron et d'Essex. Ces sols ont des propriétés semblables, bien que Perth soit légèrement mieux drainé.

Les teneurs en C organique et la profondeur de l'horizon superficiel Ap du sol Brookston cultivé dans le comté d'Essex étaient respectivement en moyenne d'environ 1,9% et 25 cm, alors que l'horizon sous-jacent (Bg) variant en profondeur de 25 à 50 cm affichait une teneur moyenne en C organique d'environ 0,4%. Le matériau d'origine de la série Brookston dans le comté d'Essex contient de l'argile calcaire, généralement à moins de 100 cm de la surface, et sa teneur en C organique va de 0,3 à 0,6%. Les sols Perth et Brookston du comté de Huron sont semblables à ceux d'Essex, mais leur horizon superficiel Ap a tendance à afficher une teneur en carbone organique un peu plus élevée. En 1977, les concentrations en C organique des couches superficielles (0-15 cm)

des parcelles de rendement du tronçon 1 (comté de Lambton) étaient constamment plus faibles sur l'emprise que dans les terrains dérangés avoisinants (tableau 11). Les teneurs en C organique des emplacements non dérangés du tronçon 1 (sols Brookston et Perth) concordaient avec celles obtenues par Acton et al. (1979). Si on suppose que le sous-sol Perth et Brookston a une teneur moyenne en C organique de 0,5%, les données obtenues sur le carbone organique montrent des taux de dilution de la terre de surface de 20 à 50% pour la couche superficielle de 0-15 cm des sols d'emprise des stations de rendement du tronçon 1.

La couche de 15-30 cm a produit des teneurs en C organique significativement plus faibles dans les terrains non dérangés que sur l'aire de chantier (tableau 11); par ailleurs, on a observé des valeurs moindres sur la tranchée que dans les sols non dérangés. Les concentrations en C inorganique des sols du chantier étaient intermédiaires entre celles observées sur la tranchée et dans les terrains non dérangés, et cela dans les deux couches 0-15 cm et 15-30 cm (tableau 11).

Les changements affectant les teneurs en C tant inorganique qu'organique dans la zone de chantier portent à conclure que des quantités considérables de sous-sol provenant de la tranchée ont été épandues sur toute la largeur de l'emprise, en particulier dans le tronçon 6. Le remuage des sols du chantier, dû simplement aux ornières de roulage n'aurait sans doute à lui-seul qu'un effet négligeable sur les teneurs en carbone inorganique. Quant à l'accroissement de l'alcalinité des sols de l'emprise causé par les carbonates remontés du sous-sol, il n'était probablement pas suffisant

Tableau 11. Teneurs en carbone inorganique et organique des couches de 0 à 15 cm et de 15 à 30 cm des sols de l'emprise et des terrains voisins non dérangés, sur le tracé de l'oléoduc Sarnia-Montréal (échantillonnés en septembre 1977).

Séries de sol	Tronçon	Nbre de stations	Profondeur	C inorganique			C organique		
				Tranchée	Chantier	Sols non dérangés	Tranchée	Chantier	Sols non dérangés
Brookston	1	3	0-15	2.1	1.5	0.1	1.1	1.5	1.7
			15-30	2.4	1.2	0.2	1.0	1.4	1.7
Perth	1	4	0-15	1.9	1.0	0.3	1.7	1.6	2.1
			15-30	3.2	0.4	0.2	0.6	1.3	1.1
Brighton	4	1	0-15	0.7	0.5	0.2	0.6	0.7	1.0
			15-30	1.4	1.9	0.3	0.4	0.2	0.3
Matilda	6	2	0-15	1.8	1.2	0.5	1.3	1.9	2.4
			15-30	2.2	0.8	0.3	0.4	1.5	0.8
Osgoode	6	1	0-15	1.3	0.7	0.0	0.7	1.6	1.7
			15-30	0.6	0.5	0.2	1.5	2.1	0.5
Morrisburg	6	1	0-15	1.2	1.5	0.4	2.0	1.4	2.7
			15-30	1.5	0.7	0.5	0.9	2.8	2.5
Moyenne			0-15	1.7	1.1	0.3	1.4	1.5	2.0
Erreur-type (Sx)				---(0.1)----------			-----(0.1)----------		
Moyenne			15-30	2.3	0.8	0.3	0.8	1.4	1.2
Erreur-type (Sx)				---(0.1)----------			-----(0.05)----------		

pour créer des carences en oligo-éléments ou en phosphates (Russell, 1973).

L'aménagement de l'oléoduc n'a pas influé significativement sur les teneurs en P et K des sols aux emplacements étudiés en 1977 (tableau 12). La forte teneur en P caractérisant les sols non dérangés de la station Morrisburg était le résultat d'apports abondants de fumier effectués avant la construction. L'analyse de l'azote total aux stations de rendement de 1977 (tableau 12) correspondait aux valeurs obtenues pour le carbone organique; ainsi, les deux paramètres témoignent des modifications relatives des teneurs en matière organique causées par le dérangement des sols.

3.1.5 Propriétés physiques et mécaniques

Dans l'aire de construction, des effets hautement significatifs (p 0,01) ont été observés sur la densité apparente (Bd), la conductivité hydraulique à saturation ($\log K_h$) et l'indice de résistance au pénétromètre à cône à toutes les stations du tronçon 1 (tableau 13). Les effets d'emplacement étaient beaucoup plus marqués sur sol Perth que Brookston. La texture de surface des sols Perth non dérangés variait du loam argileux sableux au loam limoneux, alors que tous les emplacements Brookston étaient du loam argileux. Cette plus grande variabilité de texture des stations Perth explique probablement les différences significatives dans les effets de l'emplacement.

Tableau 12. Phosphore extractible dans ($naHCO_3$, pH 8,5) et potassium échangeable dans NH_4OAc (pH 7) de couches de surface (0 à 15 cm), et teneurs en azote total des couches de 0-15 et de 15-30 cm sur l'emprise et les terrains adjacents non dérangés de l'oléoduc Sarnia-Montréal en 1977.

Séries de sols	P extractible (ug de P/g de sol)			K échangeable (ppm)			Azote total (%)					
							0 à 15 cm			15 à 30 cm		
	Tranchée	Chantier	Sol non dérangé	Tranchée	Chantier	Sol non dérangé	Tranchée	Chantier	Sol non dérangé	Tranchée	Chantier	Sol non dérangé
Brookston	12	10	12	141	137	141	0.12	0.14	0.21	0.10	0.13	0.17
Perth	18	22	20	129	137	137	0.11	0.15	0.19	0.06	0.11	0.09
Brighton	19	24	24	20	31	24	0.05	0.07	0.09	0.02	0.02	0.04
Matilda	9	9	8	47	55	55	0.13	0.19	0.22	0.04	0.15	0.07
Osgoode	15	24	24	141	110	47	0.08	0.15	0.14	0.15	0.22	0.05
Morrisburg	22	27	63	117	98	98	0.20	0.17	0.30	0.12	0.28	0.28
Moyennes	15	18	20	110	110	102	0.12	0.15	0.20	0.08	0.14	0.12
Sx	----------(3.0)------			----------(12.0)-------			----------(0.006)--------			----------(0.006)--------		

Tableau 13. Valeurs F de l'analyse de variance mesurée pour la densité apparente, les conductivités hydrauliques à saturation (transf. log.) des couches de 0-15 et de 15-30 cm et pour les valeurs de l'indice de résistance au pénétromètre à cône de la couche de 0-15 cm aux stations sur sols Brookston et Perth.

Paramètre	Effet				Réduction de la somme total des carrés (%)
	Emplacement	Zone de construction	Interaction Emplacement-zone de construction	Profondeur du sol	
			Stations sur sol Perth		
Densité apparente	25.97**	68.07**	8.04**	1.0	79
$\log_e (K_h)$	185.65**	210.33**	11.66**	1.0	93
Indice de résistance	149.58**	55.94**	3.75	-	59
			Stations sur sol Brookston		
Densité apparente	2.10	75.33**	1.49	11.72**	75
$\log_e (K_h)$	33.47**	441.15**	1.44	14.18**	89
Indice de résistance	4.46	79.50**	1.68	-	55

** significatif à $p < 0,01$

Les densités apparentes dans toutes les stations du tronçon 1 ont diminué dans l'ordre suivant: chantier tranchée terrain non dérangé, alors que les valeurs de conductivité hydraulique (K_h) descendaient dans l'ordre exactement inverse (tableau 14). Dans l'ensemble, les densités apparentes des sols du chantier ont été moins de 10% supérieures à celles des sols des terrains non dérangés, tandis que la conductivité hydraulique diminuait en moyenne de 38% dans la zone du chantier par rapport aux témoins. Les densités apparentes et le log K_h ont montré une corrélation négative significative ($r = -0,77^{**}$) dans les stations sur sol Brookston, le log Kh étant également corrélé à l'indice des pores défini comme étant le rapport entre le volume des pores et celui des solides su sol (fig. 3). Les stations sur Perth n'ont montré aucune corrélation entre ces paramètres en raison de la grande variabilité entre les divers emplacements. Il se peut que les changements apportés à la mobilité de l'eau par la construction de l'oléoduc soient plus importants que l'accroissement de la densité apparente lequel, sur l'emprise, n'était pas suffisant pour influer sur la croissance des cultures (Russell, 1973).

Les courbes de désorption de l'eau du sol dans les couches superficielles de la station 2 (série Brookston) (fig. 4) ont révélé que l'aménagement de l'oléoduc réduisait la porosité totale, mais pas la macroporosité (fig. 5). La macroporosité (porosité non capillaire) se définit comme la quantité d'eau extraite d'un volume unitaire de sol saturé lorsque la tension de l'eau du sol est abaissée de la

Tableau 14. Densité apparente moyenne, conductivité hydraulique à saturation (log_{10}), indice de résistance au pénétromètre à cône et teneur en argile dans chaque zone de construction des stations du tronçon 1.

Séries Perth Zone					Série Brookston Zone				
Station	Profondeur (cm)	Terrain non dérangé	Tranchée	Chantier	Station	Profondeur (cm)	Terrain non dérangé	Tranchée	Chantier
				Densité apparente (g/cm3)					
2	0-15	1.22	1.28	1.28	1	0-15	1.08	1.17	1.20
	15-30	1.25	1.26	1.25		15-30	1.11	1.19	1.23
3	0-15	1.10	1.20	1.26	2	0-15	1.10	1.17	1.22
	15-30	1.14	1.22	1.27		15-30	1.10	1.19	1.24
4	0-15	1.13	1.22	1.28	3	0-15	1.08	1.11	1.20
	15-30	1.15	1.23	1.25		15-30	1.12	1.17	1.23
		$\bar{S}x$ - 0.016					$\bar{S}x$ - 0.017		
				Conductivité hydraulique (loge) (cm/jour)					
2	0-15	3.88	3.74	3.66	1	0-15	3.55	3.37	3.03
	15-30	3.92	3.75	3.58		15-30	3.55	3.38	2.93
3	0-15	3.65	3.44	3.00	2	0-15	3.55	3.38	3.07
	15-30	3.61	3.55	3.11		15-30	3.47	3.34	2.95
4	0-15	3.59	3.45	3.17	3	0-15	3.69	3.66	3.31
	15-30	3.55	3.46	3.00		15-30	3.62	3.52	3.08
		$\bar{S}x$ - 0.039					$\bar{S}x$ - 0.045		
				Indice de résistance (pénétromètre) (kg/cm^2)					
1	0-15	12.74	20.69	17.05	1	0-15	10.86	17.14	14.46
2	0-15	7.87	12.69	11.64	2	0-15	8.05	15.24	14.82
					3	0-15	9.26	15.11	14.13
		$\bar{S}x$ - 0.61					$\bar{S}x$ - 0.66		
				Teneur en argile (%)					
2	0-15	9.4	26.4	20.2	1	0-15	34.4	35.6	35.6
	15-30	7.8	27.8	15.6		15-30	39.0	37.6	38.4
3	0-15	32.6	34.4	32.8	2	0-15	30.6	37.8	38.0
	15-30	33.8	36.2	33.4		15-30	34.2	38.6	36.8
4	0-15	22.8	35.6	29.8	3	0-15	17.8	30.0	23.0
	15-30	26.0	37.2	30.2		15-30	19.0	32.6	29.8

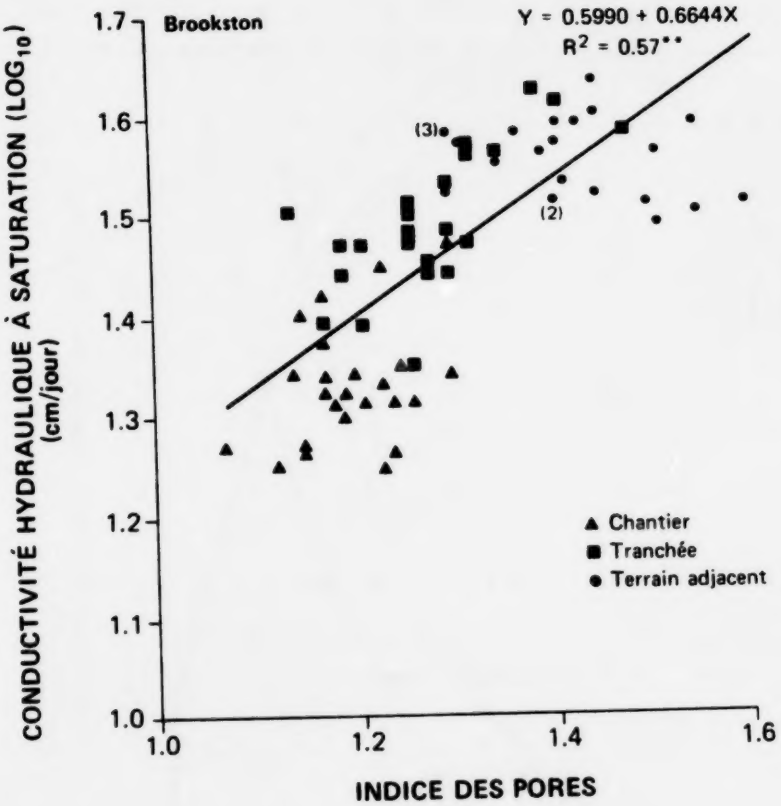

Fig. 3. Rapport entre la conductivité hydraulique à saturation (log_{10}) et l'indice des pores pour les stations sur sol Brookston.

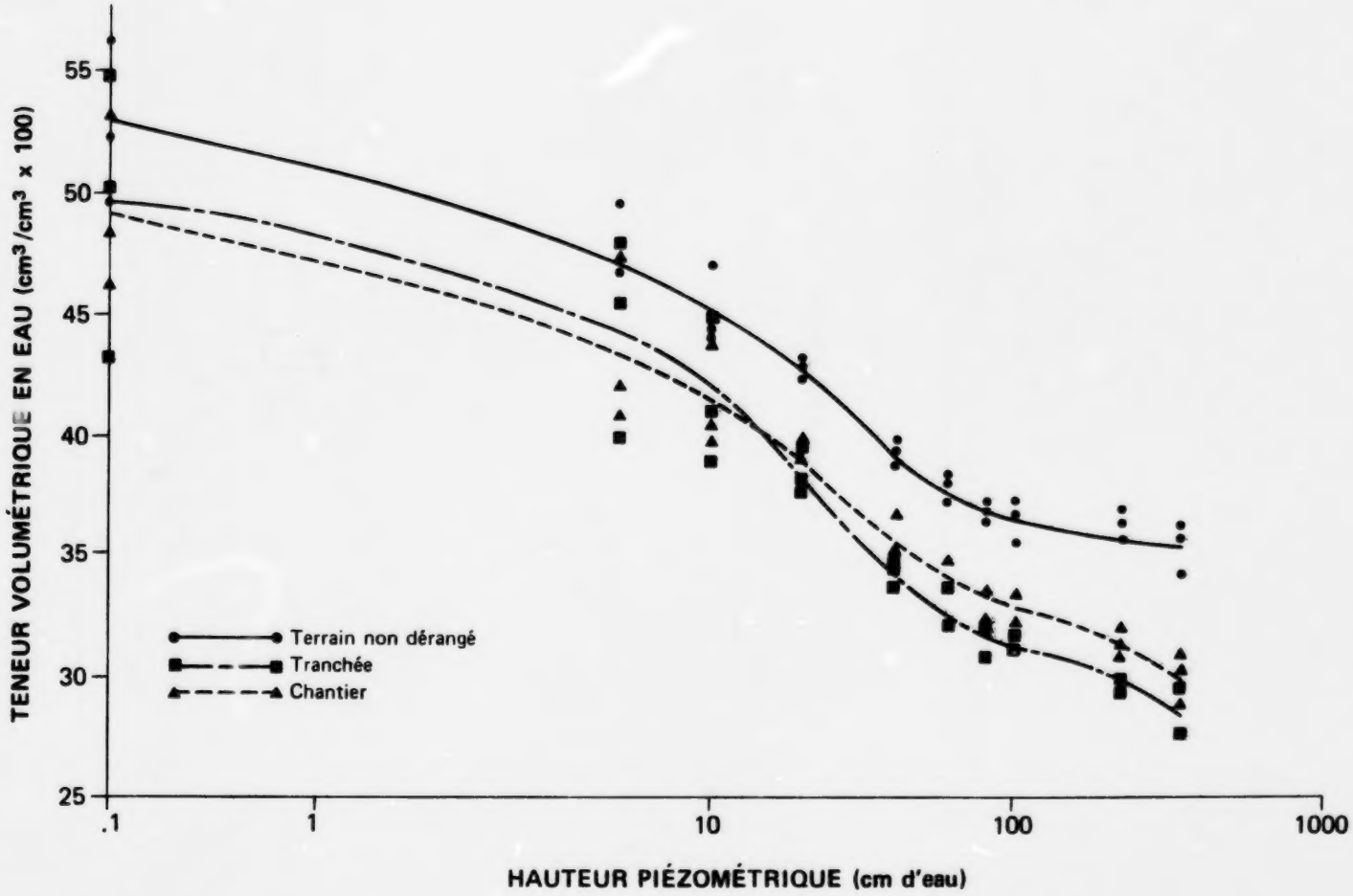

Fig. 4. Courbes de désorption de l'eau des couches de surface sur l'emprise et sur terrain non dérangé, station 2, série Brookston.

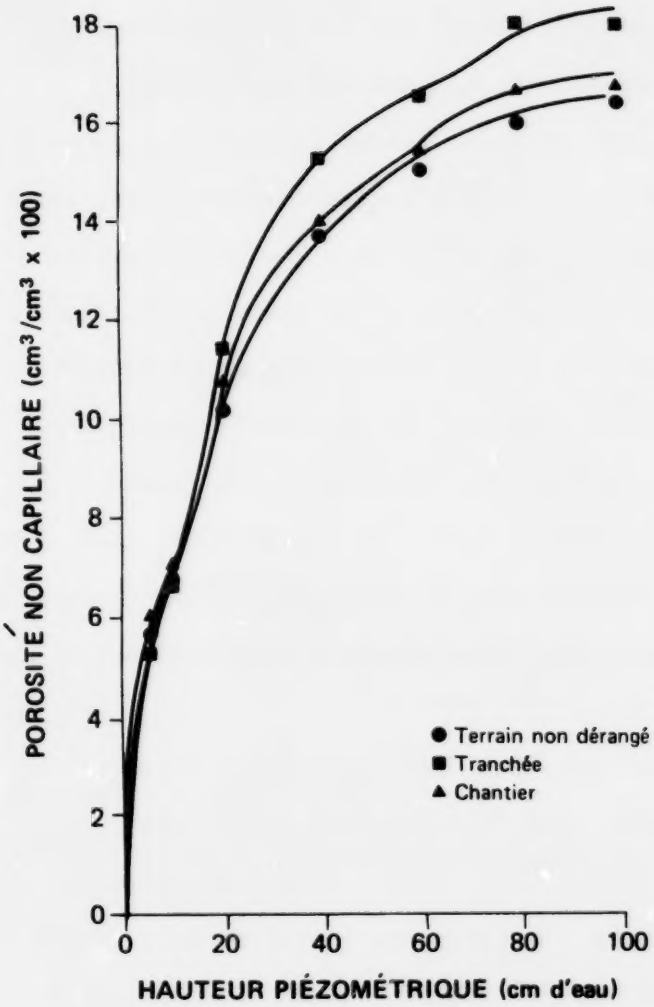

Fig. 5. Rapport entre la porosité non capillaire et la hauteur piézométrique pour les couches superficielles de la série Brookston, station 2.

pression atmosphérique à une pression négative donnée. Topp (1978) a constaté que, par rapport au sous-sol, la terre de surface de l'argile Brookston possédait une porosité totale plus élevée, mais à peu près la même teneur volumétrique en eau, au point de flétrissement permanent (P.F.P., teneur en eau à une hauteur piézométrique de 15 000 cm d'eau) (fig. 6). Ces observations se sont confirmées pour les sols Brookston étudiés ici. En effet, dans une même classe de texture du sol, la variabilité du P.F.P. est généralement négligeable (Salter et Williams, 1965). En outre, les distributions granulométriques des sols à la station 2 étaient du même ordre (tableau 14). Ainsi, les couches superficielles des sols d'emprise du tronçon 1 avaient-elles non seulement des porosités totales et des K_h plus faibles, mais également des capacités de rétention de l'eau disponible inférieures à celles des couches superficielles des sols riverains non dérangés.

En 1977, on a observé des effets différents sur la capacité de rétention d'eau pour les zones de construction à une station sur argile Haldimand située sur une emprise de l'oléoduc au sud de Hamilton. À cet endroit, les réductions des porosités totale (fig. 7) et non capillaire sur les chantier (fig. 8) étaient sensiblement du même ordre, ce qui suppose qu'il n'y a pratiquement pas eu d'effet sur la capacité de rétention d'eau. Au même endroit, on a étudié les répercussions du décapage de la terre de surface de l'emprise avant l'aménagement du pipe-line. Il est intéressant de noter que cette pratique n'a pas semblé réduire la compaction sur le chantier ni sur le remblai de la tranchée.

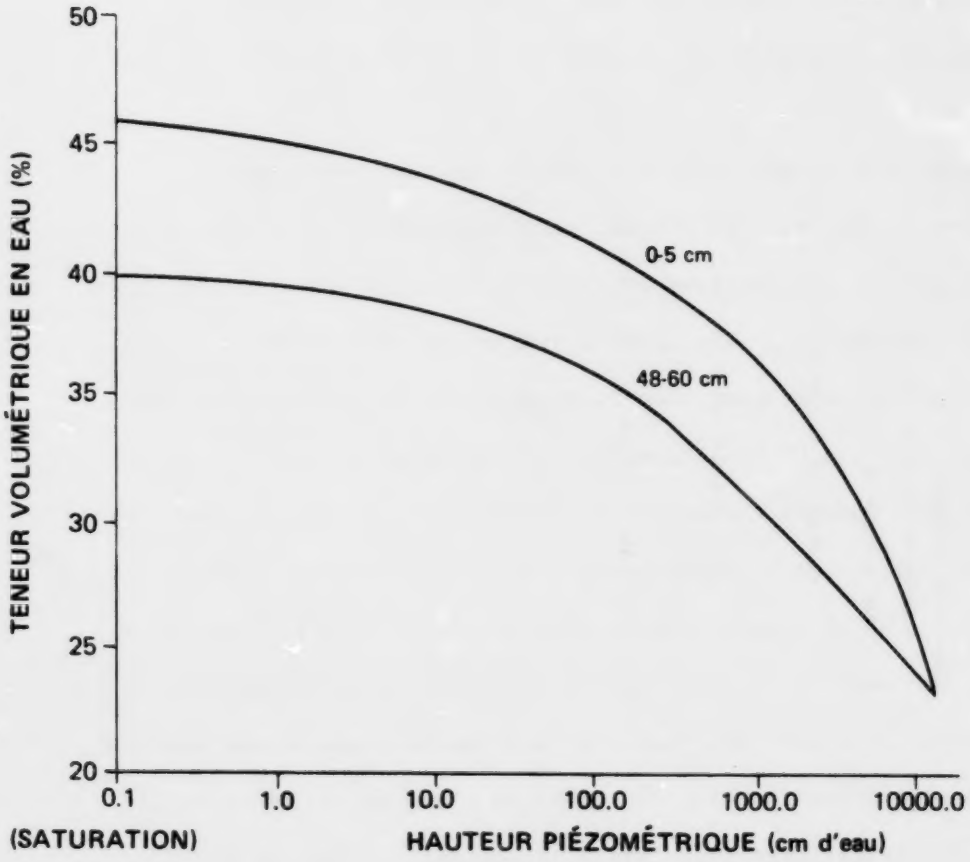

Fig. 6. Courbes de désorption de l'eau des horizons de surface et de profondeur de l'argile Brookston dans le comté d'Essex (de G.C. Topp, 1978).

On a mesuré la densité apparente et les conductivités hydrauliques sur des carottes de sol prélevées des couches superficielles de la station sur sable Brighton du tronçon 4; les travaux de terrassement n'ont apparemment eu aucun effet sur ces deux paramètres.

En juin 1978 et mai 1979, les indices de résistance au pénétromètre à cône mesurés étaient significativement plus élevés sur l'emprise que sur les terrains avoisinants à toutes les stations du tronçon 1 (tableau 14). Ces valeurs étaient en moyenne de 67 et 50% plus fortes, respectivement, sur la tranchée et le chantier que sur les terrains riverains non dérangés. À l'emplacement 2, sur sol Brookston, les teneurs volumétriques en eau enregistrées au cours des mesures de résistance à la pénétration en 1979 étaient en moyenne de 27,2, 29,9 et 36,9% respectivement dans la couche de 0 à 15 cm de la tranchée, du chantier et des sols non dérangés. D'après les courbes de désorption de l'eau, les forces de succion de l'eau du sol étaient respectivement d'environ 450, 350 et 80 cm d'eau sur la tranchée, le chantier et les terrains avoisinants non dérangés. Paul et DeVries (1979) ont obtenu des corrélations positives hautement significatives entre l'indice de résistance au pénétromètre et la succion de l'eau du sol pour un certain nombre de sols. Donc au moins une partie des différences observées dans l'indice de résistance pour les diverses zones de construction peut avoir été causée par la baisse des tensions de l'eau du sol dans les parcelles non dérangées au moment de l'échantillonnage. Il se peut que les différences de résistance

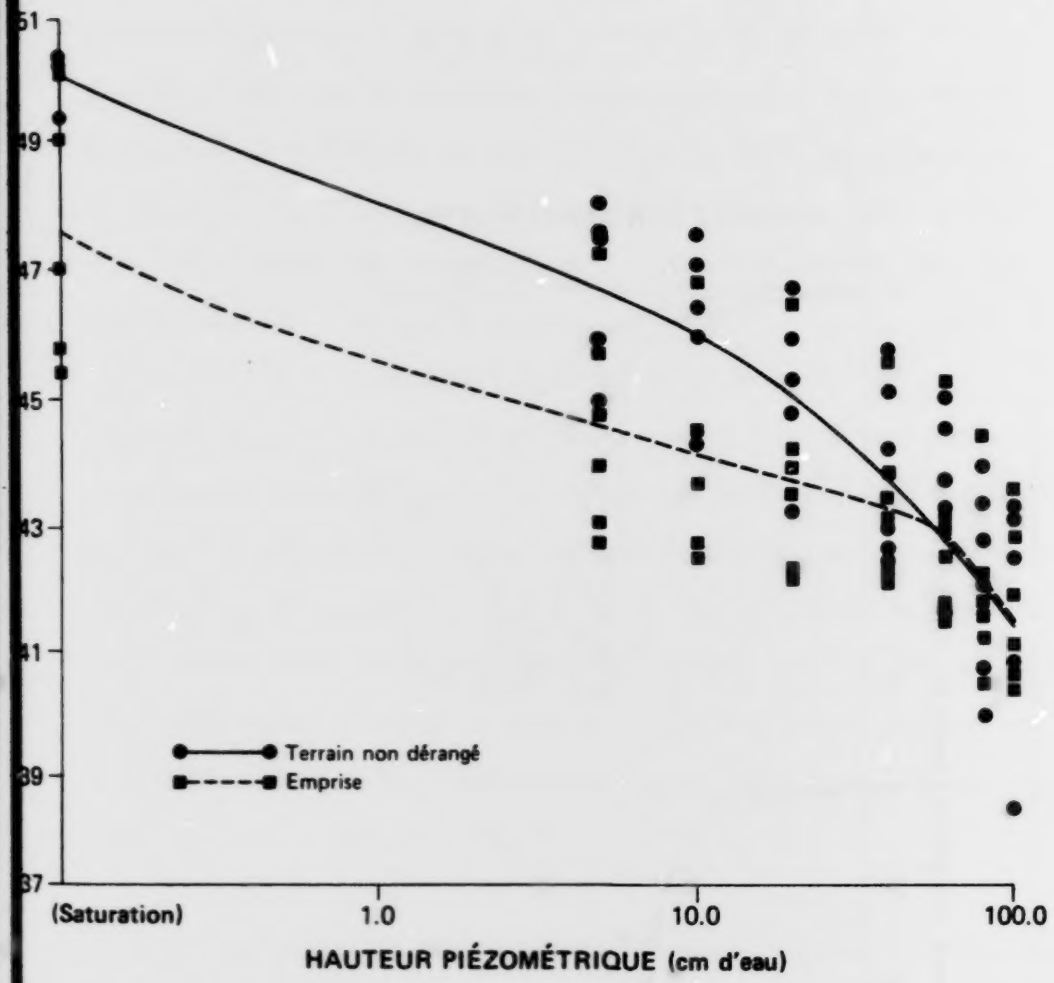

Fig. 7. Courbes de désorption de l'eau de couches superficielles de l'argile Haldimand sur l'emprise de l'oléoduc Hamilton-Nanticoke et les terrains adjacents non dérangés.

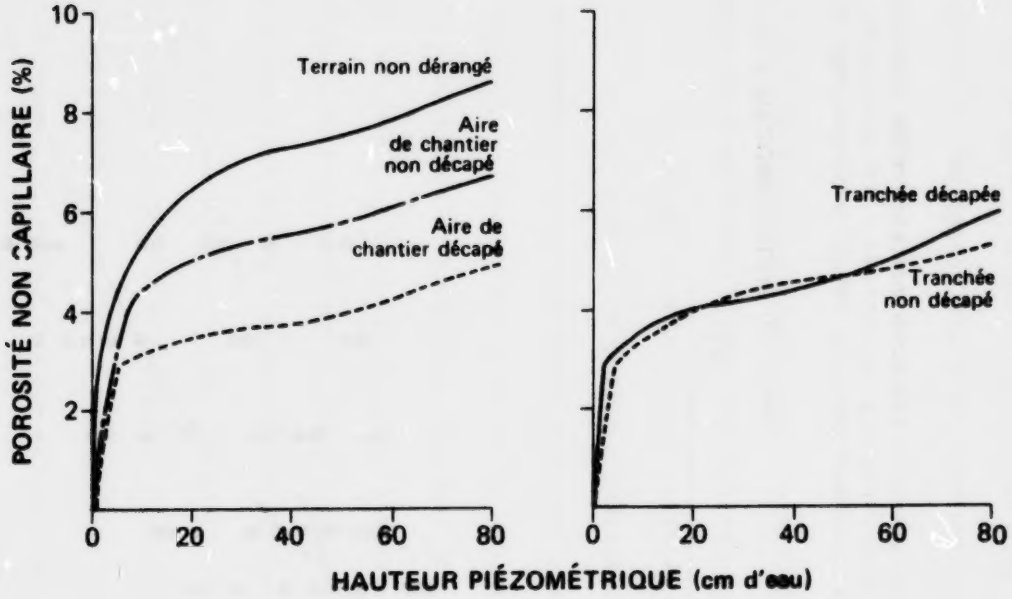

Fig. 8. Rapport entre la porosité non capillaire et la hauteur piézométrique sur argile Haldimand dérangée et non dérangée.

mesurées au pénétromètre aient influé sur la levée du soja à la station 2 (série Brookston). Les taux de levée du soja (nombre de plants/m^2) ont été mesurés à cet emplacement en juin 1978. Les densités de peuplement étaient en moyenne de 30, 29 et 36 plants/m^2 respectivement pour la tranchée, le chantier et les parcelles non dérangées. Des différences dans les taux de levée entre les zones d'emprise et le terrain non dérangé ont été observées pour la station 1 sur sol Brookston et les stations 1 et 2 sur sol Perth, mais pas pour la station 3 sur sol Brookston.

De 1976 à 1977 (première et deuxième année après la construction), on n'a relevé aucun changement significatif de la densité apparente (Bd) ni des conductivités hydrauliques à saturation (K_h) des couches superficielles de sol dans les zones de construction des stations du tronçon 1. En mai 1979, les pressions maximales du pénétromètre nécessaires pour enfoncer un cône de 30° à une profondeur de 15 cm étaient significativement moindres que celles requises en juin 1978, phénomène attribuable à une plus forte teneur en eau du sol au moment de l'échantillonnage en 1979.

3.2 Effets de la fumure N-P-K sur du maïs cultivé en serre sur sols de l'emprise de l'oléoduc

Le tableau 15 regroupe certaines propriétés physiques et chimiques de couches de surface d'une argile limoneuse North Gower (chantier d'automne) et d'un loam argileux Morrisburg (chantier d'hiver). Les effets des travaux sur ces sols étaient semblables à

Tableau 15. Propriétés physiques et chimiques de sols utilisées pour évaluer les effets de la fumure N, P et K sur le rendement du maïs le long du tracé du pipe-line.

Séries de sols	Epoque de construction	Zone	pH	C.E.C. (méq./100 g)	Azote total (%)	Teneur du sol P (ppm)	Teneur du sol K (ppm)	Limon (%)	Argile (%)	Limites de plasticité	
										Inférieure (teneur en eau v/v x 100)	Supérieure
Morrisburg	Automne	Tranché	7.8	24.3	0.19	14	94	38	38	32	43
		Chantier	7.8	18.7	0.24	11	82	36	36	30	40
		Sol non dérangé	7.8	26.5	0.28	14	82	38	38	37	50
Morrisburg	Hiver	Tranchée	7.8	10.5	0.14	9	65	35	22	27	37
		Chantier	7.8	14.9	0.25	18	90	33	22	37	46
		Sol non dérangé	7.7	18.1	0.32	31	129	37	24	41	51
North Gower	Automne	Tranchée	7.8	23.0	0.11	7	321	40	53	27	53
		Chantier	7.6	24.5	0.11	6	278	43	52	28	53
		Sol non dérangé	6.9	56.2	0.73	13	172	37	50	57	81
North Gower	Hiver	Tranché	7.7	24.6	0.15	7	203	57	39	26	45
		Chantier	7.8	22.5	0.12	8	231	44	52	25	27
		Sol non dérangé	7.6	26.5	0.25	6	145	61	33	27	43

ceux observés aux autres stations. La couche superficielle non dérangée de sol North Gower (automne) affichait une très forte teneur en matière organique, signifiant par là que le mélange de la terre de surface et du sous-sol a entraîné une réduction substantielle de la C.E.C., de l'azote total et des limites de plasticité des sols d'emprise.

Des apports d'azote et de phosphore à raison de 168 et 224 kg/ha respectivement ont significativement modifié ($p<0,01$) les rendements fourragers du maïs (matière sèche) sur les quatre types de sol (tableau 16), mais les effets de la fumure potassique (apport de 224 kg/ha) sur les sols North Gower ont été moins significatifs ($p<0,05$). La zone de construction a également influé considérablement sur les rendements et on a observé des interactions zone de construction-fumure aux quatres emplacements.

3.2.1 Azote

Dans chaque zone de construction, la fertilisation azotée a accru les rendements de façon significative ($p <0,01$) sur tous les sols (tableau 17). Les hausses de rendement dues à l'apport d'azote sur sol Morrisburg (chantier d'automne) étaient plus faibles dans l'emprise que sur les terrains adjacents non dérangés, alors que l'inverse était vrai pour le même type aménagé en hiver. Sur les sols North Gower, les effets de la fumure azotée sur le rendement ont été plus considérables sur l'emprise qu'à l'extérieur pour les deux époques de construction. Les gains enregistrés sur terrain aménagé en

Tableau 16. Analyse de variance des rendements du maïs cultivé en serre et fertilisé en N-P-K sous forme de NH_4NO_3, $CaH_4(PO)_2$) et KCl à raison de 168, 224 et 224 kg/ha de N, P et K respectivement sur quatre sols dérangés par la construction du pipe-line.

Séries de sols	Époque de construction	Zone de construction		Source de variation (Valeur de F calculée) Effets de la fumure							Zone-fumure
		Terrain non dérangé contre emprise	Tranchée contre chantier	N	P	K	NxP	NxK	PxK	NxPxK	
Morrisburg	Automne	272.9**	127.5**	329.4**	67.4**	0.34	26.18**	1.26	0.13	0.03	2.53**
Morrisburg	Hiver	209.1**	51.9**	344.0**	26.3**	2.85	5.0*	3.85+	2.31	0.39	2.81**
North Gower	Automne	1467.6**	3.13+	592.0**	147.5**	6.39*	112.2**	1.18	10.81**	1.39	3.95**
North Gower	Hiver	95.41**	51.34**	1500.0**	52.82**	5.76*	50.6**	1.12	0.51	0.30	5.72**

\+ effet significatif à p <0,10

* effet significatif à p <0,05

** effet significatif à p <0,01

Tableau 17. Rendements du maïs et principaux effets de l'apport d'azote, de phosphore et de potassium à raison de 168, 224 et 224 kg/ha, respectivement, sur quatre sols dérangés du tracé de l'oléoduc du tronçon 6.

Zone de construction	Rendements de matière sèche — Effets principaux dus au: N			P			K		
	-N	N	Différence	-P	P	Différence	-K	K	Différence
	(g/pot)		(g/pot)				(g/pot)		
Morrisburg (chantier d'automne)									
Terrain avoisinant non dérangé	29.6	48.6	19.0**	38.0	40.1	2.1	39.0	39.2	0.2
Tranchée	9.9	25.5	15.5**	12.4	23.0	10.7**	17.4	18.7	1.3
Chantier	23.2	36.4	13.1**	25.4	34.2	8.8**	30.3	28.7	-1.6
Morrisburg (chantier d'hiver)									
Terrain non dérangé	42.4	57.9	15.5**	48.6	51.7	3.1+	48.9	51.4	2.4
Tranchée	19.1	41.4	22.3**	26.1	34.3	8.4**	29.0	31.4	2.4
Chantier	30.0	48.3	18.4**	37.0	41.3	4.3*	39.0	39.3	0.3
North Gower (chantier d'automne)									
Terrain non dérangé	55.7	72.4	16.7**	59.9	68.1	8.2**	65.2	62.8	-2.5
Tranchée	11.3	36.7	25.4**	16.8	31.2	14.4**	25.7	22.4	-3.3+
Chantier	12.1	40.1	28.0**	19.9	32.3	12.4**	26.9	25.3	1.5
North Gower (chantier d'hiver)									
Terrain non dérangé	39.1	67.3	28.1**	47.3	59.1	11.7**	53.3	53.0	-0.3
Tranchée	26.2	68.5	42.3**	43.8	50.8	7.0**	49.7	45.	-4.7*
Chantier	17.0	60.5	43.5**	37.4	40.1	2.7	39.7	37.7	-2.0

\+ différence significative à $p < 0,10$

* différence significative à $p < 0,05$

** différence significative à $p < 0,01$

hiver ont sensiblement dépassé ceux obtenus sur sol terrassé en automne. Il se peut que les rendements relativement élevés obtenus sans apport azoté sur sol North Gower non dérangé aient été dus à son abondante réserve d'azote organique. Pour tous les pots fertilisés à l'azote, les rendements de maïs sur tous les sols d'emprise (de chantier d'automne) atteignaient en moyenne 59% de ceux obtenus sur sol non dérangé. Le chiffre correspondant était de 87% sur les sols aménagés en hiver. C'est donc dire que les apports d'azote ont été plus efficaces dans les sols d'emprise de chantier d'hiver.

3.2.2 Phosphore

Les gains de rendement résultant de l'apport de phosphore ne correspondaient pas toujours à la teneur initiale en P du sol. Par exemple, malgré les résultats identiques de l'analyse du sol, des gains significatifs ($p < 0,01$) ont été observés sur sol de la tranchée (Morrisburg) aménagée en automne, mais pas sur le sol voisin non dérangé (tableau 17). En revanche, les augmentations de rendement obtenues sur sol Morrisburg (chantier d'hiver) et North Gower (chantier d'automne) concordaient avec les prévisions basées sur les analyses du sol. Toutes les zones de construction sur sol North Gower travaillé en hiver auraient normalement dû réagir à l'apport de phosphore, mais ce phénomène ne s'est produit que dans les champs riverains non dérangés et l'aire de travail. Tout comme dans le cas de l'azote, les rendements des cultures traitées au phosphore étaient en

moyenne moins élevés par rapport au sol non dérangé sur les sols de chantier d'automne (59%) que sur ceux de chantier d'hiver (75%).

3.2.3 Potassium

Les hausses de rendements obtenues par l'apport de potassium étaient non significatives pour toutes les zones de construction de la série Morrisburg (tableau 17). Par ailleurs, l'application de potassium à raison de 224 kg/ha a même entraîné des réductions de rendement, faibles mais néanmoins significatives, sur les sols de tranchée North Gower (chantier d'automne et d'hiver).

3.2.4 Forte fertilisation N-P-K

Les rendements du maïs recevant respectivement 336, 448 et 448 kg/ha de N, P et K ont confirmé les observations faites aux doses de fertilisation plus faibles. Les rendements du maïs cultivé sur sol d'emprise (chantier d'automne) ont atteint en moyenne 70 à 72%, respectivement, de ceux obtenus (significativement plus faibles à $p < 0,01$) sur sols Morrisburg et North Gower non dérangés (tableau 18). Les travaux d'hiver n'ont semblé entraîner aucune réduction significative de rendement dans la zone de construction. Les résultats révèlent que sur ces sols, des apports abondants d'azote et de phosphore donnent sensiblement les mêmes rendements du maïs que sur sols non dérangés. Sur les sols de chantier d'automne, l'accroissement des doses de fumure n'a pu compenser les baisses de rendement résultant des travaux.

Tableau 18. Rendement du maïs fourrager cultivé en pots sur argile d'origine glaciaire et lacustre recevant l'équivalent de 336 kg de N, 448 kg de P et 448 kg de K/ha

Type de sol	Epoque de construction	Sol non dérangé	Rendements (g/pot) Tranchée	Chantier
Morrisburg (loam argileux)	Automne	65.1a*	40.7b	50.5c
$\bar{S}x$				
Morrisburg (loam argileux)	Hiver	62.2a	63.8a	64.6a
$\bar{S}x$			2.6	
North Gower (argile)	Automne	101.3a	73.4b	71.8b
$\bar{S}x$			2.8	
North Gower (argile)	Hiver	94.7a	88.2a	89.5a
$\bar{S}x$			4.1	

* les moyennes figurant dans chaque rangée suivies de la même lettre ne sont pas significativement différents ($p < 0,05$) d'après la méthode W de Tukey.

Pour tous les traitements de fumure, les teneurs en azote du maïs fourrager cultivé en serre sur sols d'emprise de chantier d'automne Morrisburg et North Gower étaient plus élevées que celles du maïs cultivé sur les sols avoisinants non dérangés (tableau 19). En sol de chantier d'hiver, on n'a pas observé de différence entre les zones de construction sur sol Morrisburg, mais sur sol North Gower des concentrations en azote légèrement plus faibles ont été observées dans les zones d'emprise que dans les terrains riverains.

Les teneurs en potassium étaient régulièrement plus élevées chez le maïs cultivé dans toutes les zones d'emprise, ce qui témoigne d'un retard de précocité occasionné par le dérangement du sol (Ulrich et Hills, 1967).

MacKenzie (1978a, b, c) conduit une expérience au champ aux mêmes stations d'où ont été prélevés les sols utilisés dans cette étude en serre (tableau 20). Les différences de rendement observées entre les diverses zones de construction étaient négligeables pour l'emplacement de chantier d'hiver North Gower. En revanche, à l'emplacement de chantier d'hiver Morrisburg, les rendements obtenus sur sol de tranchée et de terrain non dérangé ne différaient pas, mais ceux enregistrés sur les sols du chantier accusaient une réduction significative. Au chantier d'automne North Gower, les rendements étaient très faibles, empêchant ainsi toute comparaison valable. Ces données montrent qu'il est possible par une fumure adéquate de remédier aux baisses de rendement

Tableau 19. Teneurs moyennes (pour tous traitements de fumure) en azote, phosphore et potassium totaux du maïs fourrager cultivé en serre.

Série de sol	Epoque de construction	Zone de construction	Teneur en N	P (%)	K
Morrisburg	Automne	Sol non dérangé	0.67	0.15	1.97
		Tranchée	0.79	0.13	3.92
		Chantier	0.83	0.15	2.52
		SE	0.04	0.003	0.10
Morrisburg	Hiver	Sol non dérangé	0.71	0.17	1.99
		Tranchée	0.74	0.16	2.68
		Chantier	0.72	0.16	2.16
		SE	0.02	0.003	0.05
North Gower	Automne	Sol non dérangé	0.62	0.13	1.88
		Tranchée	0.73	0.14	5.52
		Chantier	0.69	0.15	5.08
		SE	0.02	0.003	0.08
North Gower	Hiver	Sol non dérangé	0.63	0.12	2.39
		Tranchée	0.55	0.14	4.22
		Chantier	0.58	0.14	4.74
		SE	0.01	0.004	0.11

Tableau 20. Rendements du maïs à ensilage en parcelles d'essais recevant respectivement 224, 99 et 186 kg/ha de N, P et K[1].

Zone de construction	Rendement (t/ha)			
	Morrisburg		North Gower	
	Hiver	Automne	Hiver	Automne
Sol non dérangé	10.3 (±1.55)	7.2 (±2.67)	7.2 (±0.94)	5.2 (±1.36)
Tranchée	10.0 (±1.03)	4.5 (±2.83)	7.6 (±2.01)	8.6 (±0.36)
Chantier	6.6 (±1.03)	4.8 (±1.26)	7.3 (±2.61)	8.1 (±0.56)

[1]Données gracieusement communiquée par A.F. MacKenzie

enregistrées sur sol de chantier d'hiver (sol gelé), mais qu'il est plus difficile (plus long) de corriger ce problème lorsque l'aménagement s'est effectué sur sol non gelé et détrempé (automne).

Des racines prélevées d'une répétition de chaque traitement ont été nettoyées de la terre y adhérant, séchées et pesées. L'analyse de régression a produit une bonne corrélation entre les rendements des racines et des pousses (fig. 9). Ces résultats donnent à penser que les baisses de rendement observées pourraient être attribuables à une dégradation de la structure du sol résultant de l'installation du pipe-line.

3.3 Effets du mélange de terre de surface et de sous-sol sur les rendements

On a étudié les effets du mélange de sol de surface (horizon A, couche de 0 à 15 cm) et subsuperficiel (horizon B, couche de 20 à 40 cm) sur les rendements du maïs cultivé en serre, en utilisant un loam (série Grenville), un loam limoneux (Castor) et une argile (Rideau) préalablement non dérangés. Les teneurs en azote total (Kjeldahl) de ces couches se chiffraient à 0,122 et 0,056% respectivement pour Rideau, à 0,318 et 0,055% pour Grenville et à 0,164 et 0,013% pour Castor. Cinq mélanges allant de 100 à 0% de terre de surface ont été fertilisés à raison de 112 kg/ha de N, P et K.

On a observé des corrélations positives statistiquement significatives entre les rendements du maïs (matière sèche) et la proportion de terre de surface pour les séries Castor et Grenville,

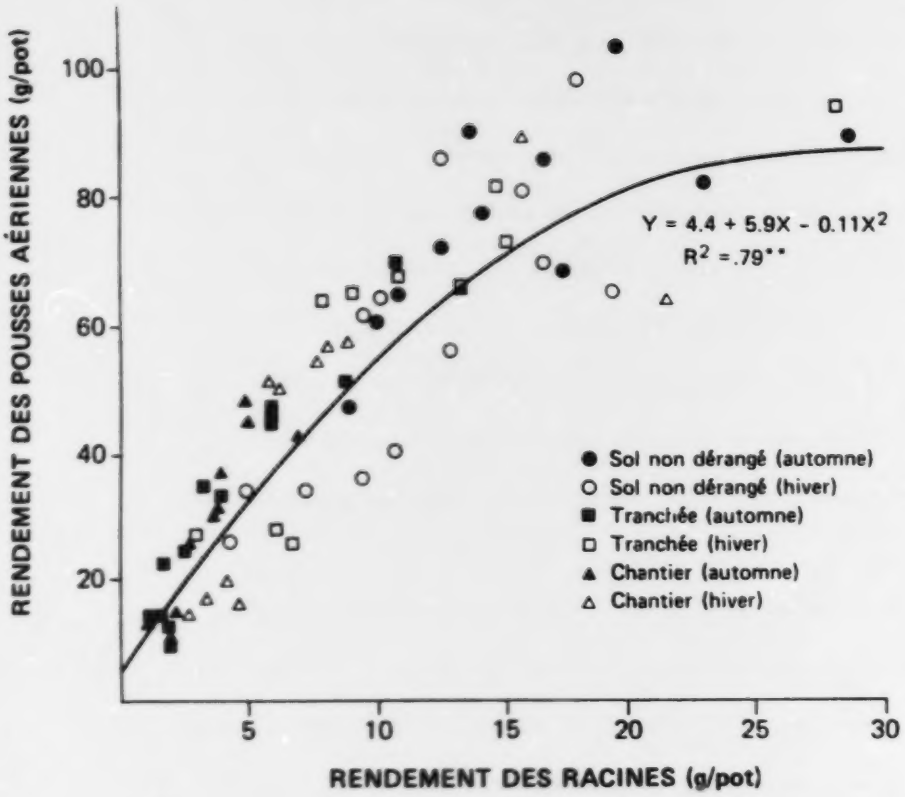

Fig. 9. Rendement des pousses et des racines du maïs cultivé en serre sur sols North Gower et Morrisburg.

mais pas pour Rideau (fig. 10). Pour celui-ci, les rendements augmentaient significativement quand la proportion de sous-sol passait de 100 à 50%, mais diminuaient ensuite légèrement quand elle arrivait à 25 et 0%. Les rendements observés pour les traitements à 100% de terre de surface étaient semblables pour les trois types de sol malgré leur différences considérables de teneurs en azote dans les couches superficielles. Ainsi, la teneur en azote total (Kjeldahl) ne peut servir de mesure de la quantité d'azote assimilable du sol. L'absorption totale d'azote par le maïs était positivement corrélée ($p < 0,01$) à la proportion de terre de surface pour les trois types de sols (fig. 11). Ces résultats font ressortir l'importance des réserves en azote organique dans la couche superficielle des sols comme source d'azote assimilable pour les végétaux.

L'absorption d'azote par le maïs et la proportion de terre de surface pour les trois types de sol ont montré une corrélation positive avec le rapport des teneurs en azote total (Kjedahl) des couches de sol superficielles et subsuperficielles (fig. 12). Alors que les teneurs en azote total du sol peuvent ne pas être généralement reliées à l'absorption d'azote par le maïs, la réduction de cette absorption causée par le mélange des couches dans un type de sol donné à une station particulière peut en revanche être liée à des variations de cette teneur en azote total du sol. Il semblerait d'après Bremner (1965) que de 1 à 3% de la réserve d'azote organique du sol soit minéralisée au cours de

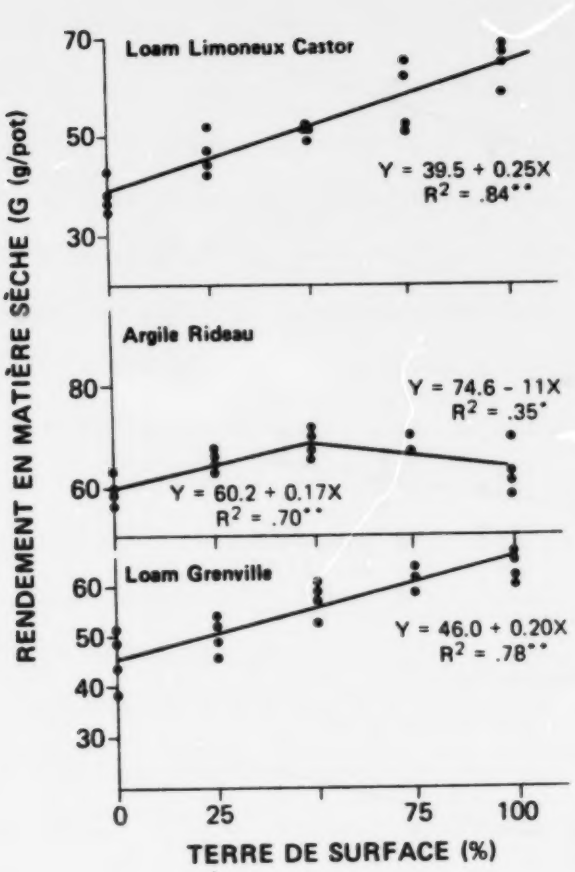

Fig. 10. Rendement du maïs cultivé en serre, en fonction de la proportion de terre de surface dans les pots.

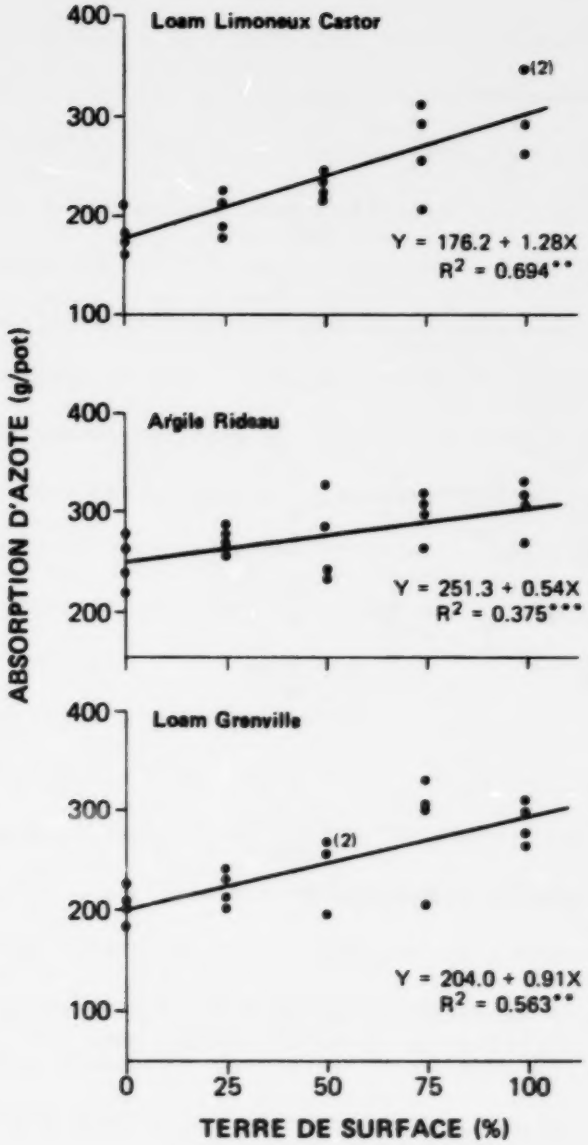

Fig. 11. Absorption de l'azote par du maïs cultivé en serre dans un sol comportant diverses proportions de terre de surface (et de sous-sol) et recevant 112 kg/ha d'azote ammonitrique.

la saison de végétation. L'application de doses de fumure azotée plus fortes que la normale, du moins pour le maïs, semble justifiée aux stations où il s'est produit un mélange important de la terre de surface et du sous-sol. On n'a pas évalué les effets de la fumure azotée sur le maïs cultivé sur des mélanges d'horizons A et B du sol, mais les données laissent supposer qu'une dilution de 50% de la terre de surface avec le sous-sol peut justifier l'accroissement de 25 à 50% des doses de fertilisation azotée pour le maïs, en supposant que la teneur résultante en azote total du sol soit de 50% de celle de la terre de surface non diluée.

L'accroissement de la teneur en azote du sol dépend de celui de la matière organique. Des recherches effectuées à la Ferme expérimentale centrale d'Ottawa ont révélé que cinq applications annuelles abondantes (environ 30 t/ha/année, base de poids sec) de purin de bovins laitiers relevaient la teneur en carbone organique du sol d'environ 0,7% dans un loam sablo-argileux cultivé en maïs. En supposant un rapport C/N constant de 10, cet accroissement de la teneur en carbone organique se traduit par un relèvement de celle en N organique du sol de moins de 0,10%. Ainsi, de fortes applications annuelles de fumier peuvent s'avérer nécessaires sur une longue période pour relever les teneurs en azote des sols dérangés. Les résultats présentés par Russell (1973) révèlent également que l'accroissement de la matière organique obtenu par des épandages de fumier peut être de très courte durée une fois les traitements arrêtés. Par conséquent, on n'insistera jamais assez sur l'importance d'empêcher le mélange de la terre de surface avec le sous-sol.

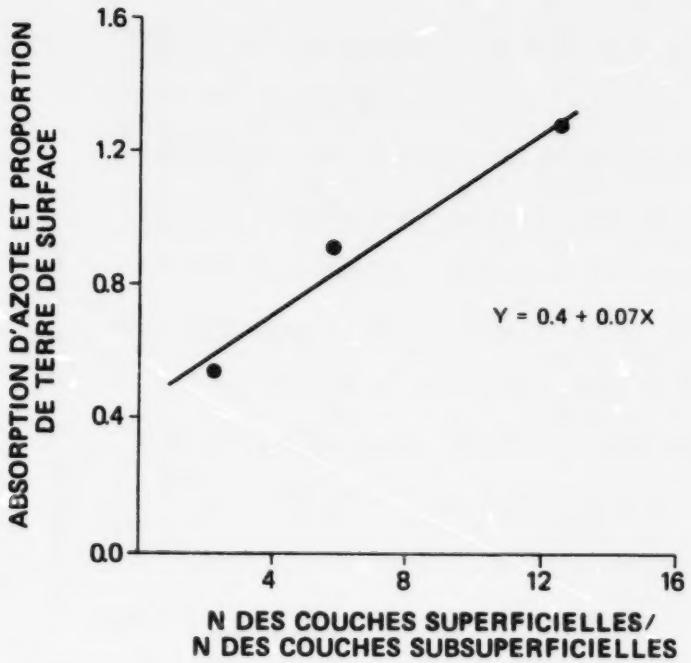

Fig.12. Relation entre l'absorption de l'azote par le maïs (fig. 11) et le rapport entre les teneurs en azote total (Kjeldahl) des couches superficielles et profondes.

3.4 Sensibilité des couches superficielles et subsuperficielles à la compaction

La figure 13 illustre des courbes de compaction Proctor standard pour des couches superficielle (0-15 cm) et subsuperficielle (20-40 cm) d'un loam Grenville, d'un loam limoneux Castor et d'une argile Rideau. La forme de la courbe Proctor a été expliquée par Baver et al. (1972). A faible teneur hydrique (en dessous de l'optimum pour la compaction), il n'y a pas assez d'eau pour produire un effet de lubrification entre les particules, alors qu'à des teneurs élevées supérieures à l'optimum, la nature incompressible de l'eau entraîne une dilution de la concentration des particules.

Les couches inférieures des séries Grenville et Castor pouvaient se compacter davantage à des teneurs en eau plus faibles, que les couches de surface. En revanche, l'inverse s'observait dans l'argile Rideau. Baver et al. (1972) et d'autres chercheurs ont noté certains rapports entre la limite inférieure de plasticité (LIP) et la teneur en eau optimale de compaction (TEOC) pour beaucoup de sols différents. Les données obtenues sur plus de 60 horizons de sols du Québec et de l'Ontario ont confirmé ce rapport:

$$TEOC = 3,2 + 0,78 \times LIP \qquad R^2 = 0,52^{**}$$

Pour les matériaux d'origine (horizons C)

$$TEOC = 0,3 + 1,00 \times LIP \qquad R^2 = 0,64^{**}$$

La limite inférieure de plasticité des horizons A, B et C de cette série de données était fortement corrélée ($p < 0,01$) avec la teneur en C organique du sol de sorte qu'il était possible de prédire

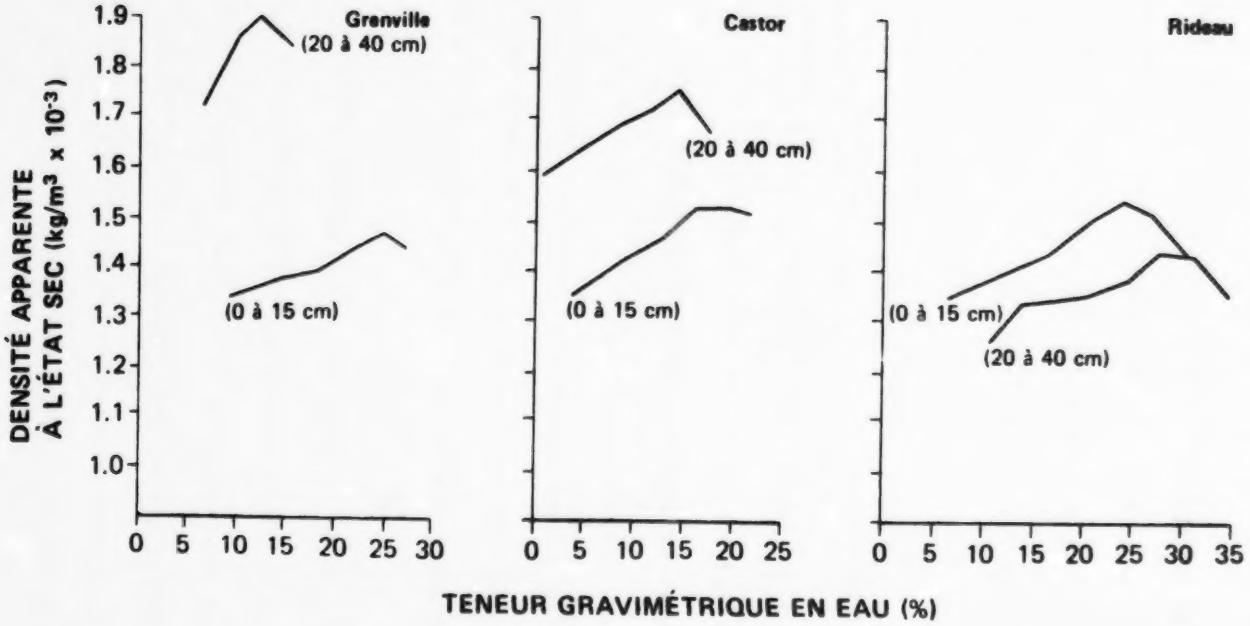

Fig. 13. Courbe de compaction Proctor standard pour les couches superficielle et subsuperficielle de sols utilisés dans une expérience de compaction en serre.

la limite inférieure C organique du sol de sorte qu'il était possible de prédire la limite inférieure et supérieure (liquide) de plasticité de ces horizons à partir des informations obtenues sur la teneur en C organique et les distributions granulométriques (tableau 21). Donc, si un profil de sol donné montre une distribution granulométrique uniforme, le TEOC sera plus élevée pour les horizons de surface que pour le sous-sol.

Les densités apparentes maximales à l'état sec (à la TEOC-Proctor) étaient particulièrement bien reliées à la teneur en sable et pouvaient être également prévues à partir des distributions granulométriques (tableau 21). Ainsi, les couches inférieures de texture plus légère que la terre de surface produiront des densités plus élevées (pour des teneurs en eau plus faibles) que les terres de surface sous l'effet d'une force de compaction donnée. D'autre part, les profils présentant des sous-sols de texture plus lourde que les couches de surface réagiront aux forces de compaction comme l'a fait la série Rideau (voir plus haut). Russell (1973) a signalé que le travail du sol devrait s'effectuer à des teneurs en eau égales à la limite inférieure de plasticité, mais que les façons culturales pratiquées à des teneurs en eau largement supérieures à cette limite risquent de créer une structure massive dépourvue de macropores.

Les densités apparentes (à l'état sec) des couches superficielles et profondes soumises à une pression de 4 kg/cm^2 (environ $\frac{1}{4}$ de la pression Proctor standard), laquelle correspondrait à la pression de contact exercée sur le sol par les pneus arrière d'un camion de bardage lourdement

Tableau 21. Equations de régression linéaire multiple entre certaines propriétés techniques de sols gleysoliques, luvisoliques et brunisoliques du Québec et de l'Ontario et les teneurs en carbone organique, ainsi que les distributions granulométriques[1].

Propriété	Unités	Horizon	Equation de régression*	Réduction de la somme totale des carrés (%)
Limite de plasticité	Teneur gravimétrique en eau (v/v x 100)	A	$15.3 + 4.58\ X_1 + 0.137\ X_4$	57
		B	$21.8 + 5.86\ X_1 - 0.113\ X_2$	55
		C	$0.0 + 4.77\ X_1 + 0.068\ X_2 + 0.148\ X_3 + 0.238\ X_4$	80
Limite liquide	Teneur gravimétrique en eau (v/v x 100)	A	$14.9 + 3.75\ X_1 + 0.593\ X_4$	73
		B	$7.0 + 5.55\ X_1 + 0.215\ X_3 + 0.535\ X_4$	63
		C	$0.5 + 0.303\ X_3 + 0.526\ X_4$	61
Teneur en eau optimale pour la compaction (Proctor)	Teneur gravimétrique en eau (v/v x 100)	C	$-1.0 - 6.68\ X_1 + 0.192\ X_3 + 0.326\ X_4$	90
		A+B+C	$0.4 + 0.175\ X_3 + 0.271\ X_4$	79
Densité apparente maximale à l'état sec (Proctor	g/cm^3	C	$0.003 + 0.143\ X_1 + 0.0221\ X_2 + 0.0155\ X_3 + 0.0125\ X_4$	95
		A B C	$0.040 + 0.0204\ X_2 + 0.0153\ X_3 + 0.0127\ X_4$	89

*X_1 - carbone organique (%)

X_2 - teneur en sable (%)

X_3 - teneur en loam (%)

X_4 - teneur en argile (%)

[1]Données tirées du CanSIS, Institut de recherches sur les terres, ministère de l'Agriculture du Canada.

chargé utilisé pour le pipe-line Sarnia-Montréal, augmentaient avec les teneurs en eau en deçà de l'optimum de compaction Proctor pour tous les horizons (fig. 14). A noter que l'évolution de la densité apparente de l'argile Rideau résultant de l'application d'une pression de 4 kg/cm^2 concordait avec celle observée sur les stations de sols d'emprise Brookston et Perth.

Raghvan et al. (1976) ont obtenu des rapports statistiquement significatifs entre les densités apparentes du sol situé sous les ornières de roulage pratiquées par les machines agricoles et les pressions de contact des pneus, le nombre de passages des roues et les teneurs en eau du sol. Ils ont constaté que les densités du sol sous les ornières de roulage se rapprochaient de celles de la pression Proctor standard à mesure qu'augmentaient les pressions et le nombre de passages. Les hausses de densité maximales se produisaient à des profondeurs de 12 à 26 cm sur argile et de 20 à 30 cm sur sable et loam sableux. Si l'on prend le fond de l'ornière comme profondeur de référence (0), les densités maximales se retrouvent à environ 10 cm de profondeur dans l'argile.

Le taux de patinage des roues a influé de façon spectaculaire sur les propriétés structurales du sol. Les densités apparentes se sont accrues de près de 0,4 g/cm^3 dans les sables et les loams sableux, et de 0,2 g/cm^3 dans l'argile pour des taux de dérapage d'environ 20%. Les dérapages de 20% ou plus sur argile dont les teneurs en eau étaient supérieures à la limite de plasticité, mais inférieures à la limite liquide, ont causé une dégradation très marquée de la structure du sol,

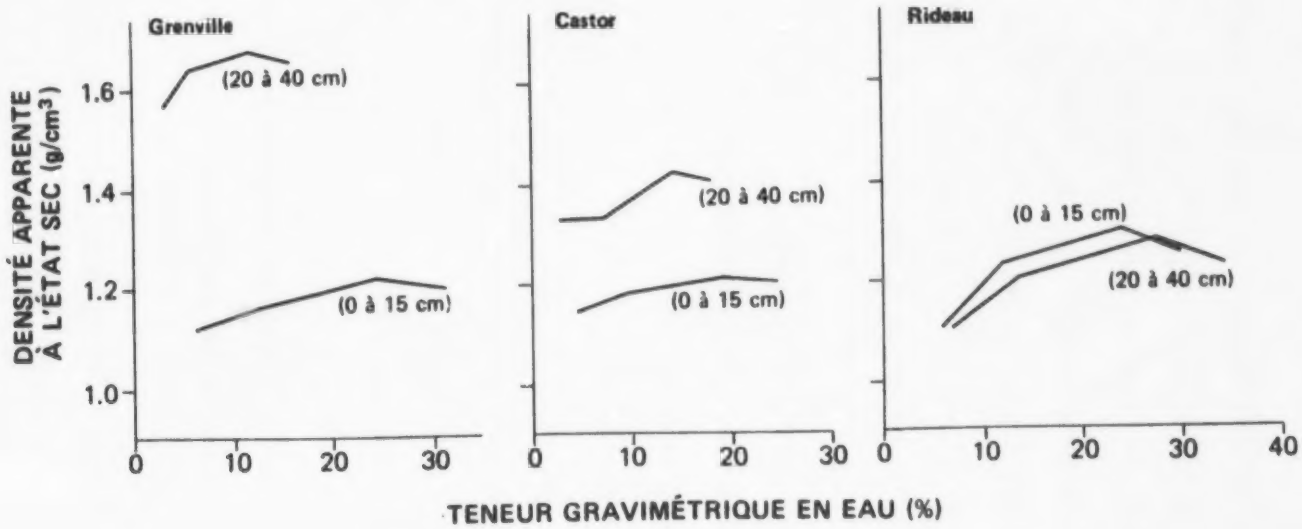

Fig. 14. Courbes de compaction de couches superficielles (0 à 15 cm) et subsuperficielles(20 à 40) de sols compactés sous une pression de 4 kg/cm^2 à diverses teneurs en eau.

Le taux de patinage des roues a influé de façon spectaculaire sur les propriétés structurales du sol. Les densités apparentes se sont accrues de près de 0,4 g/cm^3 dans les sables et les loams sableux, et la 0,2 g/cm^3 dans l'argile pour des taux de dérapage d'environ 20%. Les dérapages de 20% ou plus sur argile dont les teneurs en eau étaient supérieures à la limite de plasticité, mais inférieures à la limite liquide, ont causé une dégradation très marquée de la structure du sol, entraînant une réduction de perméabilité. Toute machine circulant sur sols argileux détrempés (près de la limite liquide) à des taux de dérapage élevés compactait la surface du sol qui prenait alors la consistance du béton. Les taux de patinage dépassant 30% se traduisaient par une désagrégation complète du sol et la formation d'ornières profondes. Raghavan et al. ont a donc proposé de manier les machines à des taux de patinage inférieurs à 5-8%.

Ces études (Raghavan et al. 1976) effectuées dans le sud du Québec ont révélé que la compaction exercée par le roulage des véhicules augmentait avec la teneur en eau du sol en deçà de la limite de plasticité, mais diminuait à des teneurs en eau excédant cette limite. Toutefois, sur les sols à texture lourde dont les teneurs en eau dépassent la limite de plasticité, le patinage des roues est la cause principale de la dégradation de la structure du sol. Ces résultats ne valent que pour les machines agricoles exerçant des pressions de contact de 0,3 à 1,1 kg/cm^2. Tout indique cependant que les pressions de contact exercées par les roues des camions de bardage lourdement chargés utilisés pour le pipe-line Sarnia-Montréal dépassaient 3 kg/cm^2. Peut-être les camions-citernes ont-ils également contribué à compacter et à défoncer le sol le long de l'emprise de l'oléoduc.

3.5 Effets de la compaction du sol à diverses teneurs en eau sur les rendements du maïs

On a effectué une expérience en serre pour évaluer les répercussions sur les rendements du maïs fourrager de la compaction de couches superficielles et profondes de sols Grenville, Castor et Rideau de diverses teneurs en eau soumis à l'effet d'une pression de compression verticale de 4 kg/cm^2 exercée avant le semis. En bas des teneurs en eau Proctor optimales pour la compaction, les rendements du maïs ont diminué avec l'accroissement des teneurs en eau du sol (au cours de la compaction) pour les couches superficielles des sols Rideau et Grenville, mais pas pour celles du sol Castor (fig. 15).

Pour le loam limoneux Castor, la compaction de la couche superficielle se traduisait par des baisses de rendement plus ou moins uniformes et significative ($p < 0,05$) d'environ 13% par rapport aux couches témoins non compactées. Mais la présence d'un sous-sol compacté à une profondeur de 7,5 cm dans les sols Grenville ou Rideau n'a pas influé sur les rendements. En effet, les racines de maïs ont continué de croître le long de la paroi des pots après avoir rencontré du sous-sol compacté. En outre, les teneurs en eau auxquelles le sous-sol Castor avait été compacté avant le semis n'ont pas influé sur les rendements, bien que ceux-ci aient été significativement réduits (d'environ 17%) à toutes les teneurs en eau par rapport aux témoins. Les résultats sont intéressants du fait qu'on ait observé des baisses de rendement sur argile, loam limoneux et loam de densités apparentes allant de 1,1 à 1,3 g/cm^3, écart souvent considéré comme non limitant pour la croissance des cultures (Russell, 1973). On a obtenu des résultats analogues pour les

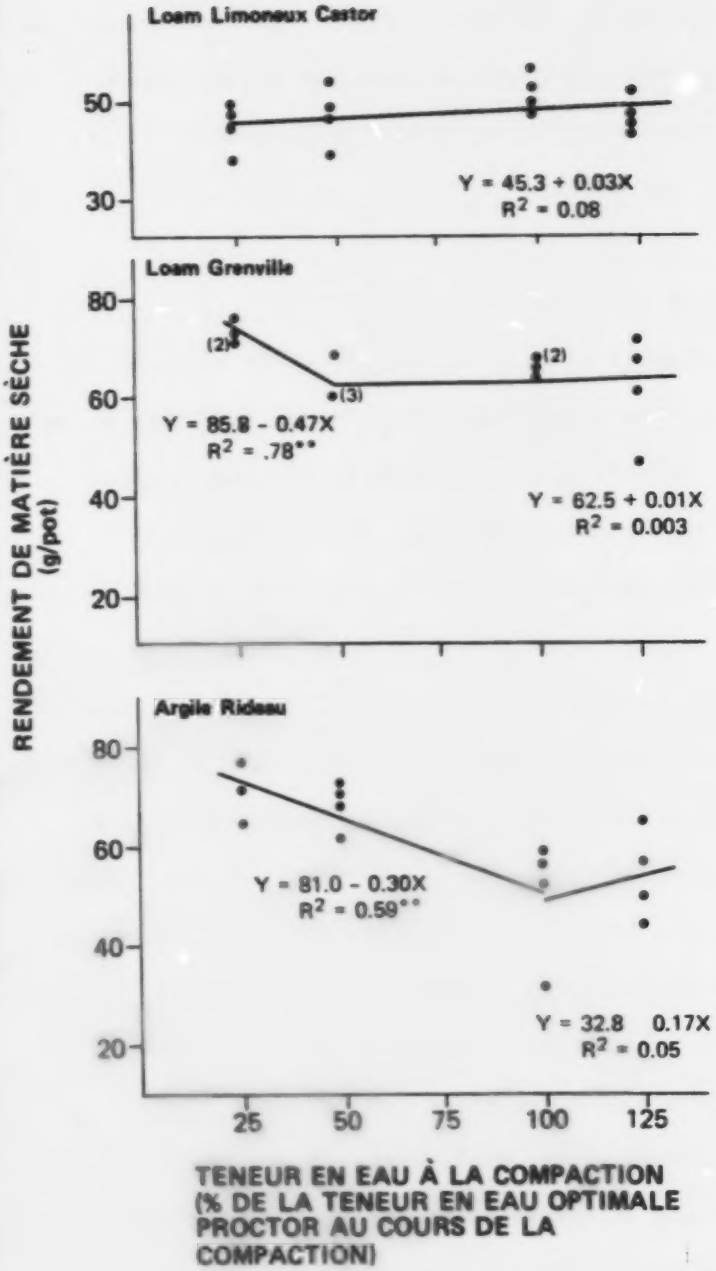

Fig. 15. Rendement du maïs (matière sèche) en fonction de la teneur en eau de la couche superficielle du sol au cours de la compaction exercée sous une pression de 4 kg/cm^2.

stations de sols non dérangés du tronçon 1. La compaction des sols à texture moyenne ou fine de l'Ontario, du fait qu'elle entraîne un faible accroissement de la densité apparente, peut donc réduire significativement la productivité agricole. Les rendements du maïs cultivé sur argile Rideau compactée avaient également tendance à fléchir avec l'accroissement de la teneur en eau du sol durant la compaction.

3.6 Décapage de la terre de surface

On a déjà établi que le mélange de terre de surface et de sous-sol avait un effet préjudiciable sur les propriétés physiques et chimiques du sol. C'est pourquoi on a fortement recommandé de conserver la terre de surface au cours de la construction d'un pipe-line (Shields, 1980). On a donc effectué une expérience pour évaluer l'effet du décapage avant la construction. Les essais ont été effectués sur argile Haldimand au cours de la construction de l'oléoduc Nanticoke-Hamilton (automne 1977) par temps relativement beau et à l'aide de matériel industriel courant. Aucune précaution spéciale n'a été prise pour conserver la terre de surface, sauf que l'excès de déblais de la tranchée n'a pas été répandu sur toute la largeur de l'emprise. Comme les conditions météorologiques étaient généralement favorables, il ne s'est pas formé d'ornières profondes au cours des travaux.

Le décapage a donné lieu à une meilleure conservation de la terre de surface de la tranchée, mais n'a eu aucun effet sur celle du chantier (tableau 22). Par ailleurs, il peut même arriver que le décapage de la terre de surface du chantier entraîne une compaction plus en profondeur des sous-sols sensibles et, aux endroits où il y a des drains, il augmente

Tableau 22. Teneurs en carbone organique et inorganique des sols de deux stations adjacentes, dont l'une a été décapée de sa couche de 0 à 15 cm avant la construction, le long de l'emprise de l'oléoduc Hamilton-Nanticoke en 1977.

	Profondeur du sol (cm)	Teneur en carbone				
		Tranchée		Chantier		Sol non dérangé
		décapée	Non décapée	Décapée	Non décapée	
Inorganique	0-15	2.7	3.4	<0.1	<0.1	<0.1
	15-30	2.1	3.8	1.9	<0.1	<0.1
Organique	0-15	0.6	0.3	2.3	2.0	2.0
	15-30	0.4	<0.1	0.8	1.3	1.2

le risque de les endommager. Les résultats de l'étude révèlent que l'épandage des déblais excédentaires de la tranchée peut nuire à la productivité des sols de toute la zone touchée. Il est donc recommandé d'éviter cette pratique, particulièrement dans les régions où la présence de sous-sol à la surface ou à faible profondeur peut entraver les opérations agricoles au champ.

4. REPERCUSSIONS DE L'ETUDE SUR LES METHODES DE CONSTRUCTION

Les résultats de la présente étude révèlent que les baisses de productivité enregistrées sur les sols d'emprise de l'oléoduc, lequel a été installé dans des conditions un peu plus pluvieuses que la normale, ont été causées par le mélange du sol (terre de surface avec sous-sol) et la compaction. Le mélange du sol a nui à la fertilité (propriété chimique) et à l'état d'ameublissement du sol (propriété physique). Les auteurs concluent que si l'on veut réduire au minimum les effets néfastes de l'installation d'un pipe-line, il faut conserver la terre de surface. Le décapage s'est montré efficace au-dessus de la tranchée. Mais n'a guère d'effet sur le reste du chantier. Les résultats ont révélé qu'une bonne partie du mélange des sols du chantier est due à l'épandage des déblais de la tranchée sur l'emprise. Le retrait de cette pratique pourrait donc s'avérer plus utile dans le maintien de la productivité des sols du chantier que le décapage de la terre de surface.

Les travaux sur la compacité des sols ont révélé que les couches inférieures sont souvent plus sensibles à la compaction que les terres de surface et que les sols deviennent plus compactables à mesure que leurs teneurs en eau augmentent en deçà de la limite de plasticité inférieure. D'autres auteurs ont constaté que les sols peuvent atteindre une compactivité optimale à des teneurs en eau égales ou inférieures à la capacité au champ. En sols plus détrempés, les tensions de cisaillement dues au patinage des pneus peuvent entraîner une dégradation substantielle de la structure des sols. Des taux de patinage d'environ 5-8% ont été jugés acceptables. C'est donc dire que la construction de pipe-lines sur sols secs devrait n'occa-

sionner qu'un minimum de destruction de l'état d'ameublissement du sol (teneurs en eau égales à environ la moitié de la capacité au champ). L'époque de l'année la plus favorable à cet égard serait celle de juin à septembre.

Les résultats de notre étude révèlent également que la construction de pipe-lines en hiver lorsque le sol est gelé peut être moins néfaste à la productivité des sols qu'à d'autres époques pourvu qu'un programme de fumure adéquat soit appliqué. Le tableau 23 présente les températures mensuelles moyennes du sol prévues pour diverses profondeurs et endroits au Québec et en Ontario. Ces températures sont considérées comme de bonnes estimations pour les sols cultivés bien drainés dans des conditions climatiques "moyennes" (J.A. Shields, communication personnelle). Une pénétration beaucoup moins profonde du gel est à prévoir dans les sols mal drainés. Les données laissent supposer que la pénétration du gel suffisante pour supporter les machines (20 cm), sans qu'il soit nécessaire d'enlever la neige pour favoriser la pénétration, de se produire qu'en février à l'ouest de London, en janvier et en février entre Kitchener et la frontière du Québec et de janvier à mars au nord de Montréal. L'enlèvement de la neige de l'emprise hâte la pénétration de la gelée, mais ces travaux nécessiteraient le passage de véhicules lourds sur sol mouillé et non gelé. On peut trouver des statistiques sur les températures du sol pour d'autres endroits au Canada dans l'ouvrage de Ouellet et al. (1975).

L'Annexe résume certains des problèmes les plus courants rencontrés dans la constructin de pipe-lines, ainsi que certaines mesures de conservation recommandées et compilées par le personnel de l'Institut de recherches sur les terres.

Tableau 23. Normales mensuelles estimatives de la température du sol à divers endroits de l'Ontario et du Québec[1]

Endroit	Température du sol											
	Décembre			Janvier			Février			Mars		
Profondeur (cm)	10	20	50	10	20	50	10	20	50	10	20	50
Sarnia	1.9	2.7	4.2	0.0	0.5	2.0	-0.3	0.0	1.2	1.0	0.9	1.5
London	1.6	2.4	3.7	0.1	0.4	1.9	-0.4	-0.1	1.1	0.7	0.7	1.3
Kitchener	1.1	2.1	3.5	-0.6	0.0	1.4	-0.9	-0.5	0.6	0.4	0.3	0.8
Guelph	0.8	1.7	3.2	-0.7	-0.3	1.3	-1.0	-0.7	0.5	0.3	0.2	0.8
Aéroport de Toronto	1.1	1.9	3.5	-0.5	-0.1	1.5	-0.8	-0.5	0.8	0.7	0.6	1.2
Belleville	1.0	1.6	3.2	-0.3	0.0	1.4	-0.6	-0.4	0.9	0.9	0.8	1.4
Kingston	1.1	1.9	3.3	-0.3	0.0	1.5	-0.8	-0.5	0.8	0.5	0.5	1.1
Morrisburg	0.8	1.4	2.8	-0.7	-0.6	1.2	-0.8	-0.7	0.8	0.3	0.2	0.9
Saint-Jérôme	0.2	1.1	2.2	-0.7	-0.5	0.9	-0.6	-0.4	0.7	0.0	0.1	0.7

1 Tirées de Ouellet et al. (1975).

BIBLIOGRAPHIE

Acton, C.F., G.T. Patterson and C.G. Heath. 1979. Soil Survey of six agricultural subwatersheds in southwestern Ontario. Task Group C - (Canadian) - PLUARG - IJC, Windsor, Ontario.

Baver, L.D., W.H. Gardner and W.R. Gardner. 1972. Soil Physics. 4th Edition. John Wiley and Sons, New York.

Bremner, J.M. 1965. Organic nitrogen in soil. In Soil Nitrogen, W.V. Bartholomew and F.E. Clarke (Eds.) Agron. Series 10, Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc. :43-92.

CAnnell, R.Q. 1977. Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. Applied Biology 2:1-86.

De Jong, E. and R.G. Button. 1973. Effects of pipeline installation on soil properties and productivity. Can. J. Soil Sci. 53:37-47.

Eck, H.V., V.L. Hauser and R.H. Ford. 1965. Fertilizer N needs for restoring productivity on Pullman silty clay loam after various degrees of soil removal. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:209-213.

Halstead, R.L., K.F. Neilsen, and A.J. MacLean. 1957. Phosphorus and Potassium supply for alfalfa in soils sampled at different depths. Can. J. Soil Sci. 37:61-70.

Lambe, T.W. 1951. Soil testing for engineers. John Wiley and Sons. New York.

MacKenzie, A.F. 1977. Effect of pipeline construction on soils and crops. A preliminary research report, Department of Renewable Resources, macDonald Campus, McGill University.

MacKenzie, A.F. 1978a. Effect of pipeline construction on soils and crops I. A preliminary research report, Department of Renewable Resources, Macdonald Campus McGill University.

MacKenzie, A.F. 1978b. Effect of pipeline construction on soils and crops. II. A preliminary research report, Department of Renewable Resources, Macdonald CAmpus, McGill University.

MacKenzie, A.F. 1978c. Effect of pipeline construction on soils and crops III. Department of Renewable Resources Macdonald Campus, McGill University.

Marsan, A. and Associates. 1978a. Post-construction environmental review - Trans Canada Pipelines Line 100-2/Quebec. Montreal, P.Q.

Marsan, A. and Associates. 1978b. Effects of construction of additional pipeline on farmlands and the environment - line 100-2/Quebec. Montreal, P.Q.

McKeague, J.A. 1978. Manual for the analysis of soil samples. Canadian Society of Soil Science. Ottawa.

O.M.A.F. 1979. Field crop recommendations. Publication 296.

Ouellet, C.E., R. Sharp, and D. Chaput. 1975. Estimated monthly normals of soil temperature in Canada. Tech. Bull. 85. Agriculture Canada, Ottawa.

Paul, C.L. and J. DeVries. 1979. Prediction of soil strength from hydrologic and mechanical properties. Can J. Soil Sci. 59:301-311.

Raghavan, G.S.V., E. McKyes, B. Beanbien, F. Merimean and I. Amir. 1976. Study of traction and compaction in eastern Canadian agricultural soils II. Department of Agricultural Engineering, Macdonald Campus, McGill University, Montreal.

Raghaven, G.S.V. and E. McKyes. 1977. Study of traction and compaction problems in eastern Canadian agricultural soils III. Department of Agricultural Engineering, Macdonald Campus, McGill University, Montreal.

Ramsay, S.A. and A.F. MacKenzie. 1978. Assessment of the impact of pipeline construction on crops and soils - Sarnia-Montreal extension and Westover-Buffalo extension. Report to National Energy Board, Ottawa.

Russell, E.W. 1973. Soil Condition and Plant Growth. 10th Edition, Longman, London.

Salter, F.J. and J.B. Williams. 1965. The influence of texture on the soil moisture characteristics of soils. II. Available water capacity and moisture release characteristics.J. of Soil Sci. 16:310-317.

Shields, J.A. 1980. Possible impact of pipeline construction on farmland. Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill New York.

Toogood, J.A. 1974. The effect of pipeline installations on crop yield. In Proceedings Workship on reclamation of disturbed land in Alberta. D. Hocking and W.R. MacDonald (Eds.). General Services Division, Alberta Environment, Edmonton, Alberta.

Topp, G.C. 1978. Physical properties of the soils of agricultural watersheds 1 and 13 which control moisture storage and transport. Task Group C - (Canadian) - PLUARG - IJC. Windsor, Ontario.

Topp, G.C. and W.D. Zebchuk. 1979. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. Can. J. Soil Sci. 59:19-26.

Ulrich, A. and F.J. Hills. 1967. Principles and Practices of plant analysis. In Soil Testing and Plant Analysis No. 2. Special Publications Series, Soil Science Soc. of America, Madison, Wisc.

ANNEXE

MESURES DE CONSERVATION DES TERRES PROPOSEES POUR L'AMENAGEMENT DES PIPE-LINES

Etat du terrain	Problèmes	Mesures recommandées de conservation des terres
L.C.I. ASSISE ROCHEUSE A MOINS DE 7 PI DE LA SURFACE		
1.1 Sol de 1 à 7 pi de profondeur sur roche-mère	(a) La migration de terre de surface dans le remblai d'agrégats sous-jacent peut réduire la proportion de terre de surface dans la couche superficielle, entraînant des problèmes d'humidité et de fertilité.	(a) Maintenir au moins 18 po de remblai régalé entre la terre de surface et le remblai d'agrégats. L'épaisseur finale de la terre de surface et du remblai régalé devrait être d'au moins 24 po pour permettre les façons culturales et la croissance végétale.
	(b) Eclats de roc ou fragments d'assise rocheuse mélangés à la terre de surface au cours des travaux d'installation du pipeline. Risque potentiel pour les machines et les animaux à l'herbage.	(b) i) Au cours des travaux de dynamitage, couvrir soigneusement le roc d'un paillasson de bonne qualité pour réduire au minimum la dispersion des éclats. ii) Tenir le tas de déblai de terre de surface le plus loin possible de la tranchée. Si possible, enlever les fragments de roc de moins de 2 po de diamètre de la terre de surface après le dynamitage.
1.2 Sol de moins de 1 pi de profondeur sur roche-mère	Problèmes de revégétation dus à la perte ou à la dilution de terre de surface par des fragments de roc.	i) Suivre les mesures 1.1a et 1.1b ci-dessus. ii) Stabiliser la terre de surface sur l'emprise pour prévenir toute érosion éolienne.
1.3 Tranchée inclinée sur roche-mère	Ecoulement oblique ou formation de mouillères provenant de l'eau canalisée par la tranchée.	i) Laisser des bouchons de roc dans la tranchée ouverte jusqu'à la pose du tuyau. ii) Songer à installer des digues de tranchée faites de sacs de sable, béton, etc. après la pose du tuyau. iii) Installer des tuyaux de drainage pour égoutter les mouillères.

Raghaven, G.S.V. and E. McKyes. 1977. Study of traction and compaction problems in eastern Canadian agricultural soils III. Department of Agricultural Engineering, Macdonald Campus, McGill University, Montreal.

Ramsay, S.A. and A.F. MacKenzie. 1978. Assessment of the impact of pipeline construction on crops and soils - Sarnia-Montreal extension and Westover-Buffalo extension. Report to National Energy Board, Ottawa.

Russell, E.W. 1973. Soil Condition and Plant Growth. 10th Edition, Longman, London.

Salter, F.J. and J.B. Williams. 1965. The influence of texture on the soil moisture characteristics of soils. II. Available water capacity and moisture release characteristics.J. of Soil Sci. 16:310-317.

Shields, J.A. 1980. Possible impact of pipeline construction on farmland. Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill New York.

Toogood, J.A. 1974. The effect of pipeline installations on crop yield. In Proceedings Workship on reclamation of disturbed land in Alberta. D. Hocking and W.R. MacDonald (Eds.). General Services Division, Alberta Environment, Edmonton, Alberta.

Topp, G.C. 1978. Physical properties of the soils of agricultural watersheds 1 and 13 which control moisture storage and transport. Task Group C - (Canadian) - PLUARG - IJC. Windsor, Ontario.

Topp, G.C. and W.D. Zebchuk. 1979. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. Can. J. Soil Sci. 59:19-26.

Ulrich, A. and F.J. Hills. 1967. Principles and Practices of plant analysis. In Soil Testing and Plant Analysis No. 2. Special Publications Series, Soil Science Soc. of America, Madison, Wisc.

ANNEXE

MESURES DE CONSERVATION DES TERRES PROPOSEES POUR L'AMENAGEMENT DES PIPE-LINES

Etat du terrain	Problèmes	Mesures recommandées de conservation des terres
L.C.I. ASSISE ROCHEUSE A MOINS DE 7 PI DE LA SURFACE		
1.1 Sol de 1 à 7 pi de profondeur sur roche-mère	(a) La migration de terre de surface dans le remblai d'agrégats sous-jacent peut réduire la proportion de terre de surface dans la couche superficielle, entraînant des problèmes d'humidité et de fertilité.	(a) Maintenir au moins 18 po de remblai régalé entre la terre de surface et le remblai d'agrégats. L'épaisseur finale de la terre de surface et du remblai régalé devrait être d'au moins 24 po pour permettre les façons culturales et la croissance végétale.
	(b) Eclats de roc ou fragments d'assise rocheuse mélangés à la terre de surface au cours des travaux d'installation du pipeline. Risque potentiel pour les machines et les animaux à l'herbage.	(b) i) Au cours des travaux de dynamitage, couvrir soigneusement le roc d'un paillasson de bonne qualité pour réduire au minimum la dispersion des éclats. ii) Tenir le tas de déblai de terre de surface le plus loin possible de la tranchée. Si possible, enlever les fragments de roc de moins de 2 po de diamètre de la terre de surface après le dynamitage.
1.2 Sol de moins de 1 pi de profondeur sur roche-mère	Problèmes de revégétation dus à la perte ou à la dilution de terre de surface par des fragments de roc.	i) Suivre les mesures 1.1a et 1.1b ci-dessus. ii) Stabiliser la terre de surface sur l'emprise pour prévenir toute érosion éolienne.
1.3 Tranchée inclinée sur roche-mère	Ecoulement oblique ou formation de mouillères provenant de l'eau canalisée par la tranchée.	i) Laisser des bouchons de roc dans la tranchée ouverte jusqu'à la pose du tuyau. ii) Songer à installer des digues de tranchée faites de sacs de sable, béton, etc. après la pose du tuyau. iii) Installer des tuyaux de drainage pour égoutter les mouillères.

L.C.2. HETEROGENEITE DES MATERIAUX DU SOL

2.1 Couches de cailloux ou de pierres à une certaine profondeur.	Le mélange de cailloux ou de pierres à la terre de surface ou à la couche supérieure du sous-sol peut poser des problèmes de travail du sol, de fertilité et de capacity de rétention d'eau.	Enlever si possible tous les cailloux et pierres étrangers de 2 po de diamètre des 18 premiers centimètres de sol sur toute la largeur de l'emprise, et ceux répandus sur la surface du sol au-delà de l'emprise par le dynamitage ou les opérations de camionnage.
2.2* Sols fins sur sols grossiers (p. ex. loam à argile sur sable ou sable graveleux)	Si la texture et la structure de la terre de surface différent nettement de celles du sous-sol supérieur, cela peut poser des problèmes d'humidité, de fertilité, de croissance végétale ou de travail du sol.	L'idéal serait d'empiler séparément la terre de surface, le sous-sol de même nature et les couches différentes pour les remettre ensuite par-dessus le pipe-line dans leur order original. Si la terre de surface et le haut de couche du sous-sol sont de texture semblable, on peut aussi les enlever et les empiler séparément à certaine distance de la couche inférieure du sous-sol. Mais cela aurait pour inconvénient de diluer la terre de surface et il faudrait recourir à des pratiques spéciales pour reconstituer la matière organique épuisée et les substances nutritives essentielles aux végétaux
2.3* Sols grossiers sur sols fins (p. ex. sable à sable graveleux sur loam à argile)		

* Ne s'applique qu'à la demande du propriétaire pour des cultures spéciales comme le gazon, le navet, etc.

L.C.3. PROBLEME D'EAU DE SURFACE

(généralement au printemps et en automne lorsque le ruissellement et les nappes phréatiques sont à leur maximum)

3.1 Formation de mares dans les dépressions et les cuvettes de drainage.	L'excès d'eau ramollit le sol et affaiblit sa capacité de charge, provoquant la formation de nids de poule dus à la circulation. À mesure que le trafic est détourné pour les éviter, les trous peuvent s'agrandir jusqu'à ce que les dégâts s'étendent au-delà de l'emprise.	i) Si la mouillère est étendue au point qu'elle ne peut être pompée ni drainée, il faudrait alors retarder les travaux jusqu'à l'arrivée d'un temps plus sec. Dans la mesure du possible, laisser l'excavation et la pose du tuyau dans les zones les plus touchées à des équipes spéciales de "raccordement" une fois les mesures de protection approuvées. ii) Extraire l'eau de surface par pompage dans les cuvettes. iii) Aménager des ponçeaux et des fossés de drainage pour évacuer les eaux de surface.
3.2 Présence d'eau dans la tranchée	Ramollissement et érosion des parois de la tranchée, suivis par l'affouillement des parois et l'élargissement de la tranchée. Cette situation nécessite une réexcavation de la tranchée par pelle mécanique à benne traînante avant la pose du tuyau, ce qui entraîne de la circulation supplémentaire sur l'emprise et une contamination fréquente des déblais de terre de surface par les matériaux fraîchement excavés.	i) Ne pas laisser la tranchée ouverte plus de 3 jours entre l'excavation et le remblayage. Lorsque les nappes phréatiques sont élevées ou qu'on prévoit de la pluie, laisser la tranchée ouverte moins de jours. ii) Pomper l'eau de la tranchée avant la pose du tuyau et le remblayage.
3.3 Tranchée inclinée dans le sol	Ecoulement par gravité ou présence de mouillères dues à l'effet de la tranchée. Problème particulièrement sérieux aux endroits où l'on passe d'une zone saline à non saline.	i) Laisser des bouchons de terre dans la tranchée ouverte sur les pentes plus raides que 5%, jusqu'à la pose du tuyau. ii) Installer des digues de tranchée faites de sacs de sable, béton, etc. après la pose du

			tuyau.
			iii) Installer des tuyaux de drainage pour égoutter les eaux de surface ou les mouillères le long de la pente.
3.4	Perturbation du drainage de surface	Formation de mares ou perturbation de l'écoulement des eaux de surface par certains éléments d'une tranchée comme les bermes ou les sillons de subsidence.	Restaurer les courbes de niveau originales par le nivelage des bermes ou le remblayage des zones affaissées.

L.C.4. **PROBLÈME D'EAU SOUTERRAINE**

4.1 Présence de limons et sables sous la nappe phréatique	L'affaissement progressif de la tranchée causé par l'écoulement du sable peut toucher l'emprise et même les terrains situés au-delà, faute de correctifs apportés à temps. L'emplacement exact de ces zones est souvent difficile à prédire d'après les données de prospection pédologique.	i) Traiter ces zones comme des passages à niveau, c'est-à-dire laisser l'excavation à des équipes spécialisées "de raccordement" une fois les mesures de correction approuvées. ii) Ces mesures de correction pourraient comprendre: a) L'installation d'un coffrage mince durant l'excavation. b) La régularisation de l'eau souterraine (p. ex. le forage d'un puits dans les cas graves).
4.2 Rupture des tuyaux de drainage	Rupture dans le drainage souterrain par l'accumulation de limon, le bris ou l'affaissement des tuyaux, l'obturation trop prolongée des tuyaux en cours d'installation.	i) Obturer les tuyaux de drainage le long des parois de la tranchée aussi longtemps qu'un tuyau de remplacement ne sera pas inséré en travers, travail qui devrait être effectué le plus rapidement possible pour réduire au minimum l'effet des ruptures. ii) Vérifier tous les conduits de drainage pose du pipe-line pour déceler les tuyaux affaissés en raison des pressions exercées par la machinerie lourde. iii) Le sommet du pipe-line devrait être à au moins 4 pi sous la surface du sol en terrain drainé ou susceptible de l'être.

5. PROFONDES ORNIERES SUR SOL DETREMPE

Un sol détrempé à une résistance moindre. La circulation sur les sols travaillés (ou même enherbés) peut excéder localement leur capacité de charge, donnant lieu à la formation d'ornières. La compaction du sol, la formation de mares et le mélange du sous-sol et de la terre de surface comptent parmi certains effets nuisibles des ornières de roulage.

i) Avant l'excavation de la tranchée, envisager sérieusement la possibilité de canaliser la circulation des camions de bardage sur l'aire de la future tranchée pour y déposer les tuyaux.

ii) Idéalement, la construction devrait être arrêtée lorsque le sol est très humide ou saturé. La formation d'ornières plus profondes que 3 po sur une longueur de 50 pi endommage suffisamment les sols pour justifier le report de la construction tant et aussi longtemps que le terrain ne sera pas plus sec ou gelé.

iii) On pourrait utiliser des paillassons pour répartir la charge de roulement, pourvu que cette façon de procéder n'aggrave pas les dégâts. On pourrait les utiliser sur des superficies étroites et détrempées comme les voies de drainage naturelles, ce qui éliminerait la cause la plus importante de dégâts à l'emprise par les ornières de roulage.

6. COMPACTION SUR SOL HUMIDE OU DETREMPE

Un sol humide ou détrempé a une résistance moindre. La structure du sol est alors plus sensible aux dégâts causé par la circulation qui compacte les structures primaires et secondaires, réduisant ainsi la porosité. A son tour, cette réduction restreint la mobilité de l'air et de l'eau dans le sol, limitant par le fait même la croissance des racines et le transport des éléments nutritifs. Cette situation peut passer inaperçue sur l'emprise, si la compaction se fait sur sol humide et ne s'accompagne pas d'ornières de roulage.

i) Avant l'excavation de la tranchée, envisager sérieusement la possibilité de canaliser le trafic des camions de bardage sur l'aire de la future tranchée pour y déposer les tuyaux. Cette façon de procéder limitera le gros de la compaction à cette zone de tranchée où l'excavation effectuée ultérieurement contribuera à émietter les couches compactées.

ii) Le moyen le plus pratique est d'arrêter les travaux sur les sols sensibles lorsqu'ils sont humides et détrempés et à retarder la construction jusqu'à ce que les conditions redeviennent propices.

iii) Il sera pratiquement impossible de réparer complètement les dégâts structuraux par passage du sous-soleuse au moment de la rénovation, en particulier si les sols sont très humides ou détrempés. L'amélioration de la structure peut nécessiter plusieurs alternances de gel-dégel, ainsi que des épandages d'engrais et de fumier de ferme.

7.	**EROSION DU SOL**	(a) Erosion hydrique de tous les sols de pente, sauf les sables grossiers. Après réaménagement, la terre de surface nue sur sols à pente de plus de 2% est sensible à l'érosion tant qu'elle n'est pas stabilisée par la végétation. Les possibilités de dégâts par l'érosion seront plus grandes s'il existe des éléments linéaires comme des traces, ornières, etc., sur l'emprise qui pourraient canaliser l'eau vers le bas des pentes. La compaction et la dégradation structurale du sol causées par la machinerie lourde peuvent également diminuer l'infiltration, accroître la formation de mares en surface et intensifier l'érosion du sol.	i) Remettre en végétation toutes les pentes nues le plus tôt possible. En attendant que la végétation s'établisse, chercher à stabiliser les sols sur pentes nues en éliminant le plus possible les éléments linéaires et la compaction du sol. Il est recommandé d'utiliser des moyens anti-érosifs, comme le travail du sol perpendiculaire à la pente, la culture en courbes de niveau, la confection de terrasses, l'utilisation de paillis, de paille, etc.
			ii) Ensemencer les pentes avec des plantes de couverture à croissance rapide et bien fertilisées. Envisager l'usage de légumineuses adaptées à l'endroit comme le lotier corniculé ou la coronille bigarrée pour assurer l'apport d'azote au sol.
		(b) Erosion éolienne, particulièrement sur sols secs, sableux et limoneux. Dans l'ouest du Canada, l'érosion éolienne peut menacer la jachère dans les sols de toutes textures au cours des périodes de sécheresse. Une fois l'érosion commencée sur l'emprise, elle peut s'étendre aux champs voisins.	i) Dans les zones sensibles, envisager la possibilité de faire passer les camions de bardage sur le tracé même de la tranchée avant son excavation, ce qui limitera la pulvérisation de la structure superficielle à la zone de la tranchée.
			ii) Dans les zones sensibles, limiter les déplacements du matériel et des véhicules le long de l'emprise si la pulvérisation de la structure favorise l'érosion éolienne. Au besoin, interdire la circulation jusqu'au retour de l'état humide.

8. SOLS ORGANIQUES

Emplacement prévisible à partir des données de proppection pédologique.	Nappes phréatiques typiquement élevées; résistance faible à la charge. Après remplissage, les sols situés dans les zones drainées s'affaisseront à un rythme accéléré.	i) Si possible, faire dévier le pipe-line pour éviter ces zones. ii) Si le sol organique est peu profond, approfondir la tranchée pour installer le pipe-line dans le sol minéral sous-jacelnt. iii) Répartir la charge des véhicules le plus possible (p. ex. utiliser des billots de bois dans les endroits non cultivés). iv) S'assurer que la nappe phréatique reprendra son niveau antérieur.

9. **PERTE DE TERRE DE SURFACE**	(a) Terre de surface incomplètement enlevée de la zone de tranchée. (b) Tas de déblais de terre de surface contaminée par du sous-sol et des éclats de roc. (c) Présence de terre de surface sous des déblais de sous-sol, contaminée par du sous-sol. (d) Terre de surface sur emprise, contaminée par du sous-sol provenant des ornières de roulage et des excavations de tuyaux de drainage, ainsi que des fragments de roc dynamité. (e) Mince couche de terre de surface sur tranchée et zone de bardage après rénovation.	(a) Enlever du dessus de la tranchée et entasser toute la terre de surface jusqu'à une profondeur de 12 po. (b) Ne pas mélanger les tas de déblais de terre de surface et de sous-sol. Aux passages à niveau, là où l'élargissement de la tranchée laisse généralement de plus grands tas de déblais de sous-sol, éloigner davantage les tas de déblais de terre de surface de la tranchée pour éviter toute contamination par le sous-sol. Chercher à empêcher le déchargement des matériaux de la tranchée sur les tas de déblais de terre de surface au cours de travaux à benne preneuse. (c) Décaper la terre de surface des zones qui devront porter les tas de déblais de sous-sol. (d) Prendre des précautions contre la formation d'ornières de roulage et la contamination de la terre de surface par des éclats de roc de dynamitage sur l'emprise et les tas de déblais. Décaper la terre de surface de la tranchée et l'entasser en travers de l'emprise en prévision des réparations futures aux tuyaux de drainage. (e) L'excédent de déblais de sous-sol non requis pour remplir la tranchée et construire une berme adéquate ne doit pas être épandu sur toute la largeur, mais être plutôt transporté dans un endroit de stockage acceptable. Replacer la terre de surface et l'épandre uniformément au moyen de machines plus petites que le tracteur D9. L'épaisseur de la terre de surface recouvrant la tranchée à la fin des travaux ne doit pas être inférieure à 3/4 de pouce de celle de la terre de surface des champs voisinant l'emprise.